

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE RESPECTO A LA PRESENCIA DE
SUSTANCIAS DE INTERÉS EN EL PM_{10} EN EL CAMPUS AGUAS CLARAS DE LA
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS, VILLAVICENCIO



JUAN JOSÉ GARCÍA VELASQUEZ
MARÍA ALEJANDRA PULIDO GALLEG0



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2024

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE RESPECTO A LA PRESENCIA DE
SUSTANCIAS DE INTERÉS EN EL PM₁₀ EN EL CAMPUS AGUAS CLARAS DE LA
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS, VILLAVICENCIO

JUAN JOSÉ GARCÍA VELASQUEZ
MARÍA ALEJANDRA PULIDO GALLEGO

Trabajo de pasantía presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Ambiental

Director
Mg. DIEGO ANDREY CORTÉS NARANJO
Ingeniero Ambiental
Magister en Gestión Sostenible y Tecnologías del Agua

Codirectora
Mg. MARTHA JULIETH HERRERA PEÑA
Ingeniera Ambiental
Magíster en Gestión Ambiental y Energética en las Organizaciones

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2024

Autoridades Académicas

P. Álvaro José ARANGO RESTREPO, O. P.

Rector General

P. Mauricio Antonio CORTÉS GALLEGU, O.P.

Vicerrector Académico General

P. José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O. P.

Rector Seccional Villavicencio

P. Rodrigo GARCIA JARA, O. P.

Vicerrector Académico Seccional Villavicencio

Mg. Julieth Andrea SIERRA TOBÓN

Secretaria General Seccional Villavicencio

Mg. WILLIAM PEÑARANDA ZÁRATE

Decano de la Facultad de Ingeniería Ambiental

Dedicatoria

Dedico este trabajo con profundo agradecimiento a mi familia, quienes fueron un pilar fundamental en cada etapa de mi formación. A mis padres, Carlos Pulido y Lucero Gallego, por su amor y guía constantes; a mis segundos padres, Pastor Parrado y María Garcés, por su apoyo incondicional; y a mis hermanos, David y Santiago, por ser mi fuente de inspiración. Al amor de mi vida, Andrey, quien sostuvo mi mano y me orientó a lo largo de mi carrera. A mis amigos, Brian y Lore, cuyo respaldo emocional y ánimo constante me acompañaron durante todo este proceso académico. A mi compañero de trabajo de grado, Juanjo, por su colaboración invaluable y compromiso compartido en el desarrollo de este estudio. Gracias a todos por inspirarme y motivarme a alcanzar mis metas.

María Alejandra Pulido Gallego

Dedico este trabajo a mis padres Edna García y Alex López, a mi abuelo Dagoberto García y a mi tía Marina Garay, debido a que han sido un pilar importante de apoyo durante este proceso de formación académica. A mi compañera de trabajo de grado por su colaboración y compromiso a lo largo del desarrollo de este estudio. A mis amigos por su motivación y apoyo constante durante este proceso y, por último, pero no menos importante a mi profesor y director de trabajo de grado Diego Andrey Cortes por su apoyo y orientación no solo durante el desarrollo de este estudio sino también a lo largo de mi formación académica.

Juan José García Velásquez

Agradecimientos

Expresamos nuestro profundo agradecimiento a la Dirección de Gestión Ambiental de la Universidad Santo Tomás por su inestimable apoyo y acompañamiento durante el desarrollo de la pasantía. Asimismo, reconocemos a la Coordinación de laboratorios por la disposición de equipos y espacios para llevar a cabo las actividades. Agradecemos a la Vicerrectoría Administrativa y Financiera de la Seccional Villavicencio por el crucial respaldo económico proporcionado, fundamental para la realización de una de las pruebas de laboratorio requeridas. También deseamos hacer un reconocimiento especial al Ingeniero Diego Andrey Cortés, director de trabajo de grado, por su constante apoyo y orientación a lo largo de todo el proceso. Finalmente, expresamos nuestra gratitud a todas las personas e instituciones que contribuyeron para la realización de este proyecto.

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Niveles máximos permisibles de material particulado en el aire.....	18
Tabla 2 Niveles máximos permisibles de contaminantes tóxicos en el aire	18
Tabla 3 Parámetros establecidos para el monitoreo de <i>PM</i> 10.....	25
Tabla 4 Cronograma del periodo de muestreo de material particulado	25
Tabla 5 Características de presentación de las muestras.....	30
Tabla 6 Descripción general y puntos de corte del índice de calidad del aire	33
Tabla 7 Composición del <i>PM</i> 10 según el tipo de industria documentada.....	45
Tabla 8 Resultados Espectrometría de absorción atómica.....	56

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 Diagrama de Actividades	20
Figura 2 Kit de calibración TE-5028	23
Figura 3 Procedimiento de calibración del equipo muestreador de partículas HIVOL ...	24
Figura 4 Desecador y balanza analítica	26
Figura 5 Cambio de filtro y carta de flujo	26
Figura 6 Diagrama de procedimiento de cambio de filtro del equipo HI-VOL	27
Figura 7 Formato de registro de datos de campo	28
Figura 8 Presentación de muestras.....	32
Figura 9 Datos históricos de temperatura durante el periodo de muestreo.....	35
Figura 10 Datos históricos de precipitación durante el periodo de muestreo	35
Figura 11 Datos históricos de radiación solar durante el periodo de muestreo	36
Figura 12 Datos históricos de velocidad del viento durante el periodo de muestreo	37
Figura 13 Mapa de precipitación de la zona de estudio.....	38
Figura 14 Mapa de temperatura de la zona de estudio	39
Figura 15 Mapa de radiación solar de la zona de estudio.....	40
Figura 16 Mapa de viento de la zona de estudio (26 febrero)	41
Figura 17 Mapa de viento de la zona de estudio (5 marzo).....	41
Figura 18 Mapa de viento de la zona de estudio (12 de marzo)	42
Figura 19 Mapa de fuentes fijas.....	44
Figura 20 Inventario de fuentes móviles.....	48
Figura 21 Mapa de intersección anillo vial.....	49
Figura 22 Hoja de calibración TE-6070V HIVOL	50
Figura 23 Construcción de la curva de calibración.....	51
Figura 24 Concentración de <i>PM</i> ₁₀ durante el periodo de muestreo	52
Figura 25 Comparación de la concentración de <i>PM</i> ₁₀ con la normatividad vigente	52
Figura 26 Resultados muestra 1 (Filtro blanco).....	54
Figura 27 Resultados muestra 2 (Filtro 4)	55

Figura 28 Resultados muestra 3 (Filtro 13)	55
Figura 29 Resultados muestra 4 (Filtro 18)	55
Figura 30 Índice de calidad del aire en la zona de estudio durante el periodo de muestreo	58

Lista de Anexos

Anexo 1 Datos históricos de velocidad y dirección del viento en el punto de muestreo durante el periodo establecido.....	68
Anexo 2 Datos históricos de precipitación, temperatura y radiación solar en los diferentes puntos de interpolación, durante el periodo de muestreo.....	68
Anexo 3 Promedios variables meteorológicas por punto	74
Anexo 4 Rosas de viento de la zona de estudio.....	75
Anexo 5 Cotización de análisis de Fluorescencia de rayos X – U. Nacional	94
Anexo 6 Cotización de análisis de Espectrometría de absorción atómica – U. La Salle .	96
Anexo 7 Resultados del cálculo de la concentración diaria corregida	97
Anexo 8 Resultados espectrometría por absorción atómica – U. La Salle.....	98
Anexo 9 Índice de calidad el aire para el periodo de monitoreo de 18 días	110
Anexo 10 Mapa de localización de la zona de estudio	111

Contenido

	Pág.
Resumen	12
Abstract.....	13
1. Objetivos	14
1.1. Objetivo general.....	14
1.2. Objetivos específicos	14
2. Marco referencial	15
2.1. Marco teórico	15
2.1.0 Origen de la contaminación atmosférica.....	15
2.1.1 Contaminantes atmosféricos y su composición química	15
2.1.2 Dispersión de contaminantes y variables de influencia directa	16
2.1.3 Determinación de <i>PM</i> ₁₀ y sustancias de interés en su composición	16
2.1.4 Riesgo a la salud humana.....	17
2.2. Marco normativo.....	18
3. Desarrollo de la pasantía	20
3.1. Identificación de factores de influencia directa en la contaminación del aire en el Campus Aguas Claras	21
3.1.1 Caracterización de condiciones meteorológicas	21
3.1.2 Cuantificación de fuentes de emisión contaminante.....	22
3.2. Determinación de la concentración de material particulado en el campus y las sustancias de interés presentes	23
3.2.1 Medición de material particulado <i>PM</i> ₁₀	23
3.2.2 Análisis elemental	29
3.3. Evaluación de la calidad del aire y el riesgo asociado a la comunidad educativa en el Campus Aguas Claras	32
3.3.1 Análisis de riesgo.....	32
4. Resultados obtenidos.....	34
4.1. Identificación de factores de influencia directa en la contaminación del aire en el Campus Aguas Claras	35
4.1.1 Caracterización de condiciones meteorológicas	35

4.1.2	Cuantificación de fuentes de emisión contaminante.....	44
4.2.	Determinación de la concentración de material particulado en el campus y las sustancias de interés presentes	50
4.2.1	Medición de material particulado PM ₁₀	50
4.2.2	Análisis elemental cuantitativo	53
4.3.	Evaluación de la calidad del aire y el riesgo asociado a la comunidad educativa en el Campus Aguas Claras	58
4.3.1	Análisis de riesgo.....	58
5.	Referencias	62
6.	Anexos.....	67

Resumen

El presente proyecto de pasantía, desarrollado en la Universidad Santo Tomás, Seccional Villavicencio, tiene como objetivo evaluar la calidad del aire en el campus Aguas Claras, analizando la concentración de material particulado PM10 y la presencia de sustancias contaminantes en su composición. Para ello, se recopilaron datos meteorológicos de la zona y se realizaron inventarios de fuentes móviles y fijas. Además, se calibró el equipo muestreador de partículas para llevar a cabo un monitoreo de campo durante un periodo de 18 días, siguiendo el protocolo establecido para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire.

Los datos recopilados revelaron que en varios días la concentración de PM10 superó los límites recomendados por la OMS, lo cual representa un riesgo potencial para la salud pública, especialmente entre los grupos vulnerables como niños y personas con enfermedades respiratorias. Sin embargo, estos niveles cumplen con la normativa nacional establecida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en la Resolución 2254 de 2017. Además, se realizaron análisis de laboratorio utilizando la técnica de fluorescencia de rayos X y espectrometría de absorción atómica, con el apoyo de los laboratorios de la Universidad Nacional y la Universidad de La Salle, para identificar la composición química de las partículas de PM10 recolectadas. Los resultados mostraron la presencia significativa de elementos como aluminio y azufre y se descartó la presencia de Cadmio.

En conclusión, se determinó que, aunque la calidad del aire en el campus Aguas Claras varía y en algunos períodos alcanza niveles aceptables según el índice de calidad del aire (ICA), la presencia en pequeñas cantidades de Plomo plantea riesgos significativos para la salud pública. Es crucial implementar medidas de mitigación efectivas por parte de la ciudad, como ajustar las estrategias de control de emisiones, promover el uso de tecnologías más limpias y desarrollar programas educativos para aumentar la conciencia sobre los riesgos asociados.

Palabras Clave: Calidad del aire, Material particulado, Contaminación atmosférica, Emisiones, Salud pública.

Abstract

The objective of this internship project, developed at the Universidad Santo Tomás, Villavicencio, is to evaluate the air quality in the Aguas Claras campus, analyzing the concentration of PM10 particulate matter and the presence of pollutants in its composition. For this purpose, meteorological data were collected in the area and inventories of mobile and stationary sources were made. In addition, particulate sampling equipment was calibrated to carry out field monitoring over a period of 18 days, following the established protocol for air quality monitoring and follow-up.

The data collected revealed that on several days the concentration of PM10 exceeded the limits recommended by the WHO, which represents a potential risk to public health, especially among vulnerable groups such as children and people with respiratory diseases. However, these levels comply with national regulations established by the Ministry of Environment and Sustainable Development in Resolution 2254 of 2017. In addition, laboratory analyses were performed using X-ray fluorescence and atomic absorption spectrometry, with the support of the laboratories of Universidad Nacional and Universidad de La Salle, to identify the chemical composition of the PM10 particles collected. The results showed the significant presence of elements such as aluminum and sulfur and the presence of Cadmium was ruled out.

In conclusion, it was determined that, although the air quality at the Aguas Claras campus varies and, in some periods, reaches acceptable levels according to the air quality index (AQI), the presence of small amounts of Lead poses significant risks to public health. It is crucial to implement effective mitigation measures by the city, such as adjusting emission control strategies, promoting the use of cleaner technologies, and developing educational programs to increase awareness of the associated risks.

Key Word- Air quality, Particulate matter, Air pollution, Emissions, Public health.

1. Objetivos

1.1. Objetivo general

Determinar la presencia de sustancias contaminantes en la concentración de material particulado (PM_{10}) y los factores de influencia directa sobre la calidad del aire y la salud de la comunidad educativa del Campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás, Villavicencio.

1.2. Objetivos específicos

- Identificar los factores de influencia directa en la contaminación del aire en el campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás, Villavicencio
- Determinar la concentración de material particulado en el campus y las sustancias de interés presentes.
- Evaluar la calidad del aire en el campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás y el riesgo asociado a la comunidad educativa.

2. Marco referencial

2.1. Marco teórico

2.1.0 *Origen de la contaminación atmosférica*

La contaminación atmosférica es el fenómeno de acumulación de contaminantes que causan efectos adversos en el medio ambiente y la salud humana, y que son emitidos al aire como resultado de actividades antrópicas, causas naturales o una combinación de ambas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2024)

Esta contaminación es en gran medida causada por las acciones humanas, que generan emisiones a partir de dos tipos de fuentes: Las fuentes móviles, que por razón de su uso o propósito son susceptibles de desplazarse, incluyen vehículos automotores y motocicletas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, 2008) y son responsables del 80 % de las emisiones de material particulado, debido al uso de gasolina y diésel en el sector del transporte (Noreña Ocampo, 2021). Por otro lado, las fuentes fijas corresponden a instalaciones industriales donde se usan equipos de combustión, tales como fábricas que emiten gases residuales a través de chimeneas y áreas donde ocurre la evaporación de sustancias durante el almacenamiento y la distribución de combustibles (Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2018). Estas fuentes contribuyen con aproximadamente el 18 % al 22 % de las emisiones (Noreña Ocampo, 2021).

2.1.1 *Contaminantes atmosféricos y su composición química*

Entre los contaminantes criterio podemos encontrar: Dióxido de azufre (SO_2), dióxido de nitrógeno (NO_2), ozono troposférico (O_3) y monóxido de carbono (CO) y material particulado (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2024); Este último es uno de los contaminantes atmosféricos más común y de gran interés, siendo una mezcla de partículas sólidas y líquidas en forma de polvo, humo, niebla o ceniza, que se clasifica según su tamaño: de diámetro menor a 10 micras (PM_{10}) y de diámetro menor a 2.5 micras ($\text{PM}_{2.5}$) (Departamento Nacional De Planeación (DANE), 2018).

Las partículas PM_{10} pueden contener muchos componentes, principalmente: Sulfatos, Nitratos, Amonio, Sodio, Cloro, Carbón elemental, componentes minerales y agua. Además, se encuentran en cantidades menores elementos traza como: Plomo, Cadmio, Mercurio, Níquel, Cromo, Zinc y Manganese, así como compuestos orgánicos como hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), entre otros, que pueden resultar nocivos para la salud humana y el medio ambiente (Eurofins Environment, 2023).

2.1.2 Dispersión de contaminantes y variables de influencia directa

Las variables meteorológicas, como la velocidad y dirección del viento, temperatura, precipitación y estabilidad atmosférica tienen un impacto significativo en la forma en que los contaminantes se dispersan y se mueven en el medio ambiente. En grandes ciudades, factores como la inversión térmica pueden atrapar contaminantes cerca del suelo, mientras que las condiciones topográficas y los patrones de viento pueden dificultar la ventilación y dispersión de contaminantes como el PM_{10} . Esto puede resultar en una disminución temporal de la calidad del aire (Peña Becerra & Afanador Gutiérrez, 2019).

Estos daños se pueden presentar a escala global, cuando los contaminantes son emitidos desde fuentes localizadas y tienen un impacto en la capa de ozono como los gases de efecto invernadero, a Meso escala, cuando viajan distancias considerables, como la lluvia ácida, afectando áreas lejanas a los focos emisores y Microescala, cuando son producidos localmente como el tráfico, la industria y la agricultura, afectando directamente la salud y la calidad del aire en áreas urbanas e industriales (Fundación Gas Natural Fenosa, 2018).

2.1.3 Determinación de PM_{10} y sustancias de interés en su composición

Para calcular la concentración de PM_{10} , se utilizan dispositivos de muestreo que capturan partículas del aire, entre estos, los muestreadores de alto volumen (High-Volume Samplers). Estos dispositivos funcionan aspirando aire a través de un filtro que retiene las partículas durante un período de tiempo determinado (generalmente 24 horas). El filtro se pesa antes y después del muestreo para determinar la masa de las partículas. La concentración de PM_{10} en ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) se calcula con la diferencia entre la masa de partículas y el volumen de aire (Total de aire aspirado

por el muestreador durante el período de muestreo) (Área metropolitana del Valle de Aburrá, 2007).

Existen diferentes técnicas analíticas utilizadas para la determinación de la composición elemental de muestras, que operan bajo principios diferentes. La fluorescencia de rayos X (XRF), somete una muestra con rayos X de alta energía, lo que provoca que los átomos emitan rayos X secundarios característicos de cada elemento presente, los cuales son detectados y analizados para proporcionar un análisis cualitativo y cuantitativo de múltiples elementos simultáneamente, es rápida, no destructiva y aplicable a muestras sólidas y líquidas, aunque tiene limitaciones en la detección de elementos ligeros y en concentraciones muy bajas (Malvern Panalytical, 2024).

Por otro lado, en la espectroscopía por absorción atómica (EAA), el analito debe ser transformado en átomos gaseosos aplicando calor, seguido de la exposición a luz de una longitud de onda específica; Los átomos absorben esta luz en longitudes de onda características, y la cantidad de luz absorbida es medida para determinar la concentración del elemento en la muestra, es una técnica altamente sensible y adecuada para la detección de metales, pero generalmente analiza un solo elemento a la vez (Martínez Guijarro, 2020).

2.1.4 Riesgo a la salud humana

Las partículas PM_{10} , debido a su pequeño tamaño, pueden ser inhaladas por el sistema respiratorio y por eso se les conoce también como fracción respirable o inhalable (Eurofins Environment, 2023). En 2019, se atribuyeron cerca de 380,000 muertes prematuras en la región a causa de la contaminación del aire. La exposición puede provocar diversas enfermedades graves, como infecciones respiratorias y enfermedades cardíacas. Aproximadamente 250 millones de personas en América Latina viven en ciudades sin información sobre la calidad del aire (Organización Panamericana de la Salud, 2024).

La contaminación del aire puede afectar la salud de diversas maneras, los síntomas comunes incluyen problemas respiratorios, alergias, tos, irritación ocular y congestión nasal. Sin embargo, también puede causar problemas más graves como el cáncer de pulmón y anomalías reproductivas. Estudios han demostrado que una exposición prolongada a contaminantes como el PM_{10} puede aumentar el riesgo de problemas respiratorios y cardiovasculares (Giraldo Arcila & Bermúdez Rubio, 2022).

2.2. Marco normativo

Mediante el Acuerdo 042/17, el Consejo Superior de la Universidad Santo Tomás aprobó la Política ambiental. Esta se aplica en todas las sedes y seccionales de la universidad y con su aprobación, el sistema de aseguramiento de la calidad de la universidad abarca la gestión ambiental, con el objetivo de incorporar la dimensión ambiental en todas las actividades universitarias, fomentar una cultura que permita prevenir o reducir los impactos ambientales y cumplir con las leyes vigentes (Consejo Superior de la Universidad Santo Tomás, 2020).

La directriz a nivel nacional establece en (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017), la norma de calidad del aire y adopta disposiciones para la gestión del recurso aire en el territorio nacional (**Tabla 1**) y también los niveles máximos de contaminantes tóxicos del aire, teniendo en cuenta sus efectos adversos en la salud humana y el ambiente expuestos en la **Tabla 2**, esto con el propósito de realizar una comparación del cumplimiento legal.

Tabla 1 Niveles máximos permisibles de material particulado en el aire

Contaminante	Tiempo de exposición	Concentración (µg/m³)		
		(MADS)	(OMS)	(EPA)
Material particulado				
(PM ₁₀)	24 h	75	50	150

Nota. Los valores presentados en esta tabla son recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y corresponden a un tiempo de exposición de 24 horas, ya que es el tiempo de monitoreo en el presente estudio. Adaptado de (Marín, 2019).

Tabla 2 Niveles máximos permisibles de contaminantes tóxicos en el aire

Contaminantes tóxicos	Nivel máximo permisible ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tiempo de exposición
Benceno	5	Anual
Plomo y sus compuestos	0,5	Anual
Cadmio	0,005	Anual

Tabla 2 *Continuación*

Mercurio inorgánico	1	Anual
Tolueno	260	1 semana
	1000	30 minutos
Níquel y sus compuestos	0,180	Anual
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	0,001	Anual

Nota. Tomado de (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

Es fundamental resaltar que el presente estudio se enmarca en los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) establecidos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU). La evaluación de la calidad del aire y el riesgo asociado sea va en línea con El ODS 3: “Salud y bienestar”, que busca garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades, contribuyendo particularmente a la meta 3.9 “Para 2030, reducir sustancialmente el número de muertes y enfermedades producidas por productos químicos peligrosos y la contaminación del aire, el agua y el suelo” (United Nations Development Programme, 2015).

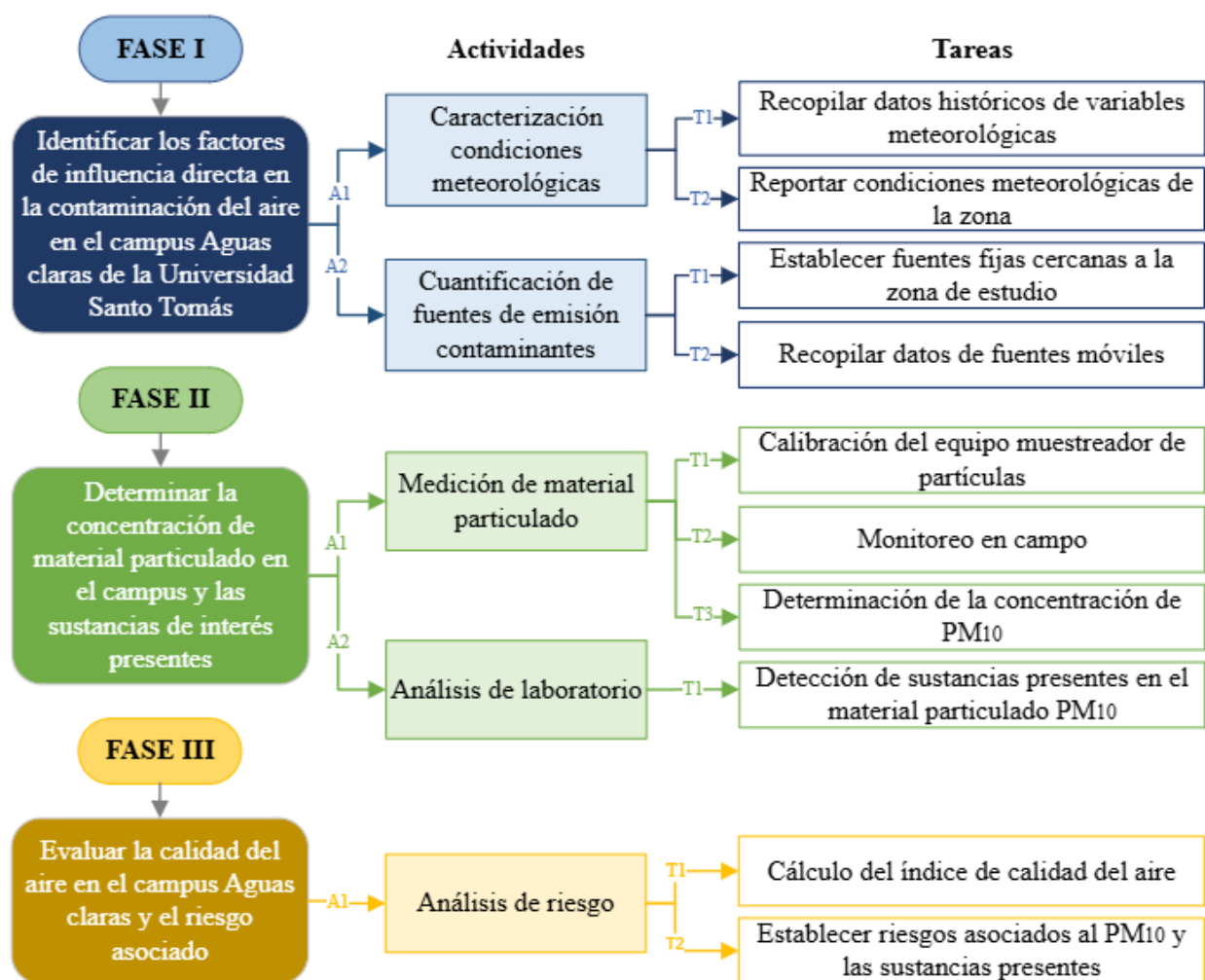
Por otra parte, la identificación de los factores de influencia en la contaminación del aire y la determinación de la concentración de material particulado contribuyen a la meta 11.6 del ODS 11: “Ciudades y comunidades sostenibles”, que se propone “reducir el impacto ambiental negativo de las ciudades, con especial atención a la calidad del aire y la gestión de desechos” (United Nations Development Programme, 2015).

Finalmente, responde al ODS 13: “Acción por el clima”, que busca tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus impactos, de esta manera la identificación de contaminantes y la evaluación de sus fuentes y concentraciones no solo abordan problemas locales de calidad del aire, sino que también contribuyen a las políticas de mitigación del cambio climático, apoyando la meta 13.2, que busca integrar medidas de cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales” (United Nations Development Programme, 2015).

3. Desarrollo de la pasantía

En el presente trabajo de pasantía, se recopiló información sobre la calidad del aire en las áreas de interés. También se hizo una revisión bibliográfica para establecer procedimientos de manejo de equipos, muestreo y análisis, y de esta manera obtener resultados confiables que permitieran establecer la calidad actual del aire en la Universidad Santo Tomás y el riesgo asociado a esta sobre la comunidad educativa. En la **Figura 1**, se presenta de manera general la metodología aplicada, considerando las actividades asociadas a los objetivos propuestos y el orden cronológico de su desarrollo y posteriormente la descripción de cada una de ellas.

Figura 1 Diagrama de Actividades



3.1. Identificación de factores de influencia directa en la contaminación del aire en el Campus Aguas Claras

3.1.1 Caracterización de condiciones meteorológicas

3.1.1.1. Recopilación de datos históricos de variables meteorológicas en la zona de estudio. Para obtener información meteorológica precisa durante el periodo de monitoreo atmosférico en la zona de estudio, se recurrió a la base de datos de NASA POWER (Prediction of Worldwide Energy Resources). Esta herramienta desarrollada por la NASA proporciona información meteorológica detallada a nivel global, utilizando datos satelitales y modelos climáticos avanzados para estimar diversas variables atmosféricas (Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA), 2021). La elección de esta herramienta se fundamenta en la falta de estaciones meteorológicas locales que ofrezcan datos diarios relevantes, considerados de influencia directa en la dispersión de contaminantes, que incluyen velocidad y dirección del viento (Ver **Anexo 1**), precipitación, temperatura, radiación solar (**Ver Anexo 2**). Los valores promedio de las variables estudiadas se presentan en el **Anexo 3**. Para crear un mapa preciso de temperatura o precipitación, se tomaron datos de 8 puntos de muestreo estratégicamente seleccionados para capturar la variabilidad espacial. Esta multiplicidad de puntos reduce errores y permite marcar patrones, los datos recopilados se ingresan posteriormente en un software de interpolación.

3.1.1.2. Reporte de condiciones meteorológicas de la zona de estudio. Para analizar las condiciones meteorológicas en la zona, se empleó WRPLOT, programa que permite generar gráficos que ilustran cómo se distribuyen las direcciones y velocidades del viento en una ubicación y periodo determinado, con el cual se generaron rosas de viento en el punto de muestreo, como se detalla en el **Anexo 4**. Este proceso permitió identificar de manera precisa la dirección y velocidad predominante del viento en la zona, esto es esencial para comprender la dinámica del flujo de aire y la posible procedencia del material particulado recolectado.

Posteriormente, se utilizó ArcGIS para construir una representación cartográfica detallada de la distribución espacial de las variables meteorológicas de interés, utilizando el método Kriging, que estima los valores en áreas sin mediciones directas, generando una superficie continua de los valores interpolados, transformándola en mapas de precipitación, temperatura y radiación solar,

donde se visualizan las variaciones espaciales de estas variables, facilitando así la comprensión de los patrones climáticos locales y el análisis de cómo estos factores influyen en el comportamiento de los contaminantes atmosféricos.

3.1.2 Cuantificación de fuentes de emisión contaminante

3.1.2.1. Fuentes fijas cercanas a la zona de estudio. Ante la imposibilidad de obtener un inventario de fuentes fijas por parte de CORMACARENA, se implementó un procedimiento para identificar las fuentes de emisión de contaminantes. Primero, se utilizó la información hidrometeorológica obtenida para determinar la dirección predominante del viento hacia el punto de estudio. Este análisis permitió detectar las posibles fuentes de contaminación que podrían afectar directamente la calidad del aire en el área del campus.

Con base en la dirección del viento, se trazó una ruta en el sector de influencia donde el viento transportaría los contaminantes hacia el punto de interés. Empleando Google Earth, se realizó un mapeo visual del área definida, identificando según referentes, industrias que pudieran ser fuentes de emisión de material particulado. Se recopilaron datos de ubicación y mediante el software ArcGis se construyó una representación que permitiera visualizar la localización en relación con el punto de monitoreo y analizar la distribución espacial de las fuentes considerables.

Finalmente, se describieron las actividades asociadas a cada industria y los posibles contaminantes atmosféricos derivados de sus procesos de producción. Este análisis se basó en referencias técnicas y bibliográficas que detallan las emisiones típicas de las diferentes industrias.

3.1.2.2. Fuentes móviles. La universidad se encuentra en una zona con intensa y variada actividad vehicular, lo que hace de la contaminación del aire por fuentes móviles una preocupación clave. El primer paso consistió en obtener información precisa sobre las fuentes móviles de material particulado en Villavicencio. Para ello, se realizó una solicitud formal a la Secretaría de Movilidad del municipio, esta solicitud personal buscaba acceder al inventario del parque automotor, un documento que contiene datos relevantes sobre el número y tipo de vehículos en circulación (automóviles, motocicletas, camiones, autobuses, etc.), año de fabricación, tipo de combustible utilizado (gasolina, diésel, gas natural, eléctricos) y otras características relevantes que afectan sus emisiones de material particulado y otros contaminantes atmosféricos.

3.2. Determinación de la concentración de material particulado en el campus y las sustancias de interés presentes

3.2.1 Medición de material particulado PM_{10}

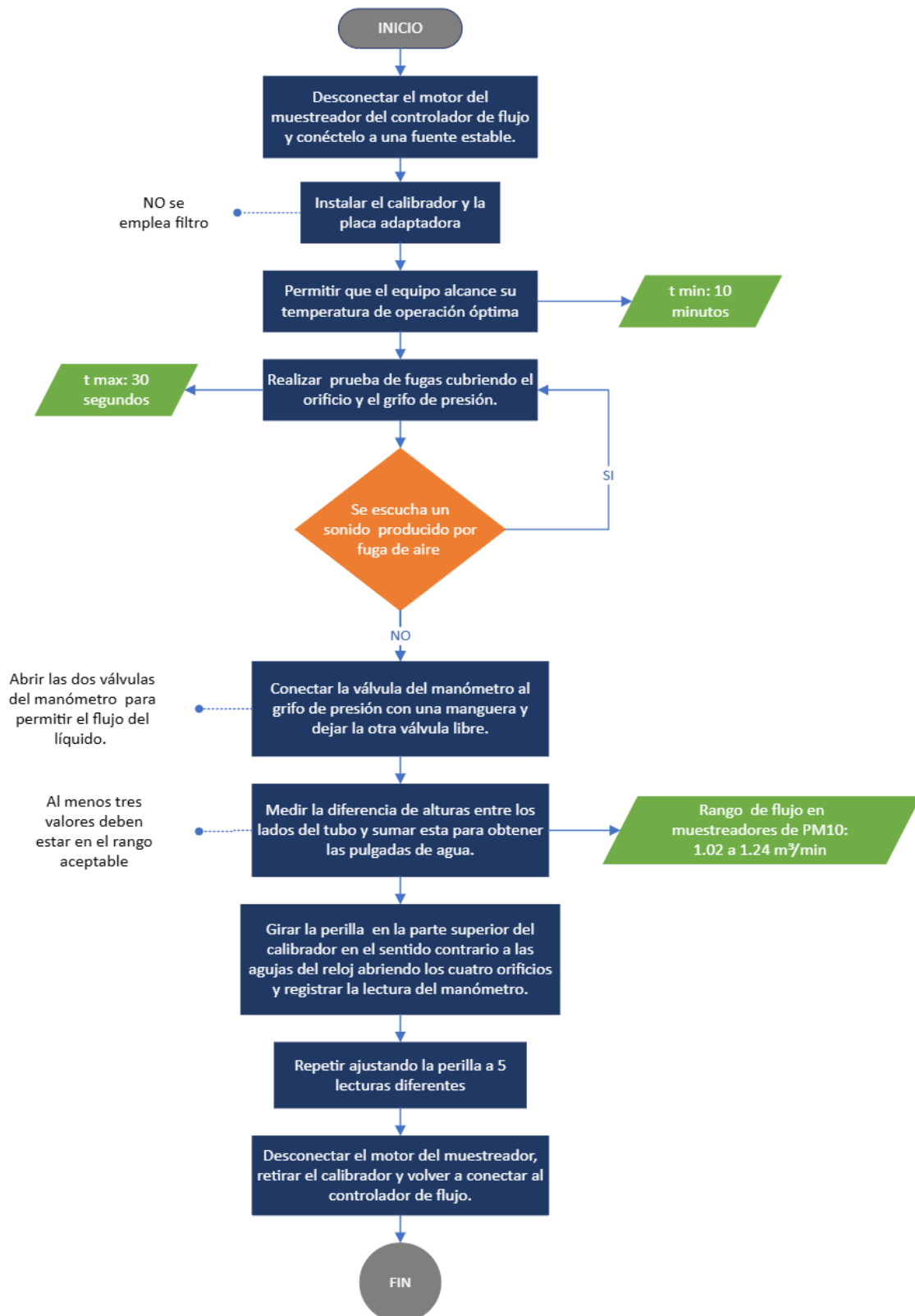
3.2.1.1. Calibración del equipo muestreador de partículas. Para la medición de material particulado se empleó un HI-VOL TE-6070V. Este equipo es un muestreador de aire de alto volumen, utilizado para recolectar partículas del aire con diámetro de 10 micrómetros o menos, diseñado con un controlador de flujo volumétrico (VFC) que asegura un muestreo uniforme, garantizando la obtención de muestras representativas (Tisch Environmental, 2024b).

En este caso específico, se optó por realizar la calibración mediante el método de orificios TE-5028. El kit incluye un manómetro de agua tipo tubo de 30", una placa adaptadora, un tubo de 3", el equipo y los accesorios se pueden apreciar en la figura.

Figura 2 Kit de calibración TE-5028



Antes de iniciar la calibración, es necesario hacer un registro de datos de temperatura ambiente, presión atmosférica, especificaciones del muestreador, la configuración del orificio utilizado (incluyendo su pendiente), fecha de la última certificación y detalles específicos proporcionados en la hoja de cálculo del fabricante. En la **Figura 3** se describe el procedimiento.

Figura 3 Procedimiento de calibración del equipo muestreador de partículas HIVOL

3.2.1.2. Monitoreo en campo. Se hicieron mediciones atmosféricas en un punto estratégico de la Universidad Santo Tomás, considerando la presencia de una importante vía de la ciudad de Villavicencio y la ubicación de fuentes fijas que usan o emiten sustancias químicas relevantes. Se consideró también la seguridad de los equipos y la accesibilidad al sitio de muestreo.

- **Determinación de parámetros de muestreo**

Para el monitoreo de PM_{10} , se siguió el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, en el cual se especifican los parámetros para tener en cuenta, los tiempos de muestreo, y los procedimientos operativos estándar.

Tabla 3 Parámetros establecidos para el monitoreo de PM_{10}

Parámetro	Descripción
Punto de muestreo	Portería (Anillo vial)
Altura de toma de la muestra sobre el piso	2 a 15 m
Restricciones de flujo de aire	Ninguna a 270° alrededor de la toma de la muestra y/o 120° sobre el equipo
Distancia de carreteras	2 a 5 metros

Nota. Elaborado a partir de (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2010).

El protocolo establece un período de dieciocho (18) días consecutivos, con una duración de 24 horas cada día para la toma de muestras. El periodo específico en el que se llevó a cabo la recolección de muestras se detalla en la **Tabla 4**.

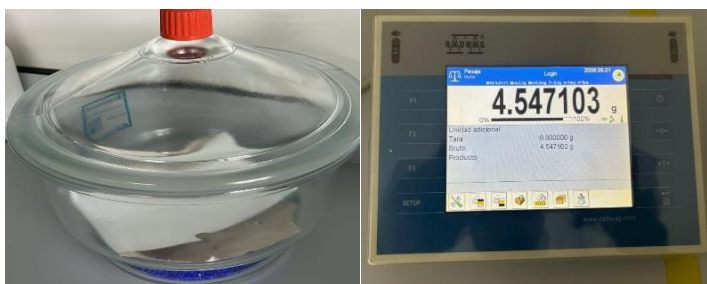
Tabla 4 Cronograma del periodo de muestreo de material particulado

Mes	Día						
	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Febrero						23	24
	25	26	27	28	29		
Marzo						1	2
	3	4	5	6	7	8	9
	10	11					

- **Secado y pesaje de filtros**

Para el análisis, se emplearon 19 filtros de fibra de cuarzo, con medidas de 20,5 cm x 25,5 cm (18 para muestreo y 1 blanco), de los cuales el equipo muestreador emplea un área interna para deposición de material particulado de 358,75 cm^2 (17,5 cm x 20,5 cm). Estos se colocaron en un desecador durante 24 horas y se pesaron antes y después del muestreo con condiciones controladas de humedad y temperatura, utilizando una balanza analítica de 6 dígitos, previamente calibrada.

Figura 4 Desecador y balanza analítica

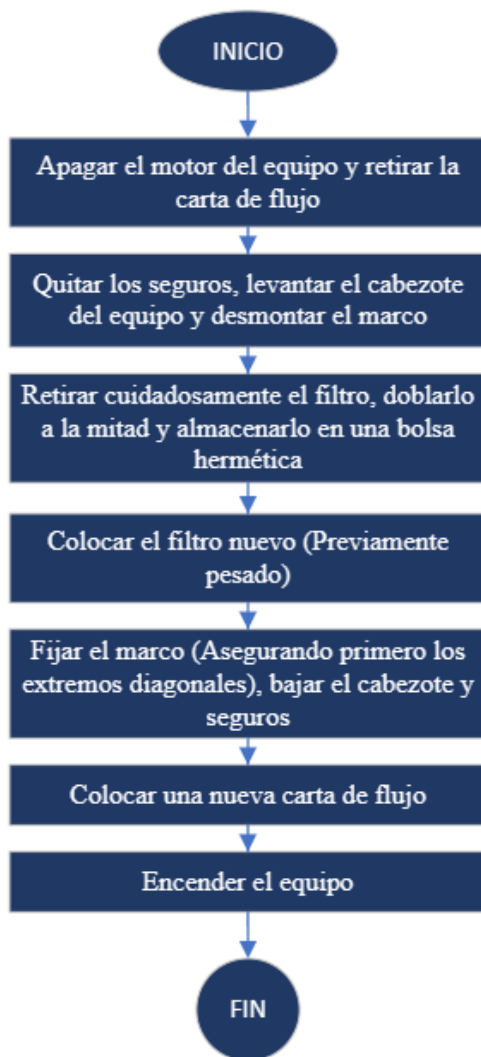


- **Cambio de filtro**

Las muestras se recolectaron diariamente a las 17:00 horas, asegurando un tiempo de muestreo continuo de 24 horas, como lo establece el protocolo para el monitoreo de la calidad del aire. El cambio de filtro se llevó a cabo de acuerdo con el procedimiento descrito en la **Figura 6** y se realizó conforme a las directrices para garantizar la representatividad de las muestras.

Figura 5 Cambio de filtro y carta de flujo



Figura 6 Diagrama de procedimiento de cambio de filtro del equipo HI-VOL

- **Registro de datos**

En cada control se registraron la fecha, hora, personal responsable, condiciones del lugar de muestreo como presión y temperatura, información del equipo y resultados del pesaje de filtros. Estos datos se documentaron en el formato ilustrado en la **Figura 7**, y posteriormente se utilizaron para el cálculo de la concentración de material particulado.

Figura 7 Formato de registro de datos de campo

		DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE RESPECTO A LA PRESENCIA DE SUSTANCIAS DE INTERÉS EN EL PM₁₀ EN LA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS, VILLAVICENCIO			
		Fecha:	Día _____	Mes _____	Año _____
REGISTRO DE DATOS DE CAMPO					
Responsable:					
Información del equipo					
Nombre:	HI-VOL			Método de ref. PM₁₀:	RFPS-0202-141
Marca:	TISCH	Serial:	3292		
Condiciones de muestreo				Observaciones:	
Punto de muestreo:					
Hora (hr-min):					
Temperatura (°C):					
Presión (mmHg):					
Resultados					
ID Filtro:					
Peso inicial:					
Peso final:					
Diferencia:					

El procedimiento para calcular la concentración de PM_{10} se inició conforme a lo establecido en el procedimiento para la determinación de la concentración de partículas suspendidas menores a diez (10) micras en el aire ambiente por el método PM_{10} . Primero, se determinó la velocidad de flujo promedio corregida a las condiciones de referencia (Q_{ref}) a partir del flujo promedio en condiciones ambientales (Q_a). Este cálculo se realizó utilizando la fórmula específica para la corrección de flujo, asegurando que las mediciones se ajusten a las condiciones de referencia y proporcionando resultados precisos y estandarizados para la concentración de PM_{10} (Área metropolitana del Valle de Aburrá, 2007).

$$Q_{ref} = Q_a \left(\frac{P_{av}}{T_{av}} \right) * \left(\frac{P_{ref}}{T_{ref}} \right) \text{ (Ecuación 1)}$$

Donde:

- P_{av} : **Presión barométrica promedio durante el muestreo**
- T_{av} : **Temperatura ambiente promedio**
- T_{ref} : **Temperatura estándar (298 °K)**
- P_{ref} : **Presión de referencia (101.3 kPa)**

Posteriormente, se calcula el volumen total de aire muestreado (V_{ref}) multiplicando la velocidad de flujo promedio corregida a las condiciones de referencia por el tiempo de muestreo.

$$V_{ref} = Q_{ref} * t \text{ (Ecuación 2)}$$

Finalmente, se obtiene la concentración de PM_{10} :

$$PM_{10} = \left(\frac{(W_F - W_i) * 10^6}{V_{ref}} \right) \text{ (Ecuación 3)}$$

Donde:

- **PM_{10} : Concentración másica de PM_{10} ($\frac{\mu g}{m^3}$) ref.**
- **W_F y W_i : Pesos final e inicial del filtro recolector de partículas, respectivamente**
- **10^6 : Factor de conversión de gramos a microgramos**

3.2.2 *Análisis elemental*

3.2.1.3. Detección de sustancias en material particulado PM_{10} . Se llevaron a cabo dos tipos de pruebas de laboratorio para reforzar los resultados obtenidos, inicialmente se realizó espectrometría de fluorescencia de rayos X por longitud de onda (XRF), utilizada para identificar la composición química elemental del material particulado **PM_{10}** , permitiendo detectar una amplia gama de elementos presentes en las muestras. La segunda prueba fue la espectrometría por absorción atómica, específicamente dirigida a los contaminantes criterio de interés, según la norma 2254 de 2017, complementando el estudio al proporcionar una detección más precisa.

- **Espectrometría de fluorescencia de rayos X por longitud de onda (XRF)**

Esta técnica se empleó para determinar la composición química elemental de las muestras de material particulado, debido a su alta precisión y capacidad para detectar múltiples elementos simultáneamente, aunque no es efectiva para los elementos ligeros como H, C, Li, Be, B, N, O y los elementos transuránicos, es especialmente útil para la identificación de metales pesados.

Tras una evaluación comparativa de servicios en varios laboratorios del país, se determinó que el laboratorio 114 - de Fluorescencia de Rayos X de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, era el más adecuado para llevar a cabo este análisis inicial, ya que no solo dispone del equipo necesario para realizar las pruebas, sino que también cuenta con las certificaciones pertinentes, lo que garantiza la fiabilidad y precisión de los resultados obtenidos. En este caso, el laboratorio empleó un equipo con una sensibilidad de 100 ppm, lo que significa que puede detectar concentraciones de metales pesados en la muestra hasta un límite mínimo de 100 partes por millón, equivalente al 0.01% del total.

Para el análisis semicuantitativo, el laboratorio requirió (Ver **Anexo 5**) un conjunto de muestras correspondientes a los filtros F4, F13 y F18, seleccionados aleatoriamente, con las características detalladas en la tabla 1.

Tabla 5 Características de presentación de las muestras

Material	Filtros de fibra de cuarzo		
Tamaño	5 cm x 5 cm		
Cantidad de	Con muestra	3	
Filtros	Blanco	1	
Almacenamiento	Bolsa Ziploc		
Presentación			

- **Espectroscopía por absorción atómica (EAA)**

Durante el estudio, se decidió aplicar una segunda prueba complementaria debido a que la XRF solo proporciona información cualitativa sobre la composición elemental y puede tener limitaciones en la detección de ciertos metales, lo que podría llevar a la omisión de algunas sustancias. La espectrometría de absorción atómica (EAA), que identifica y cuantifica elementos químicos, fue seleccionada para este análisis. Esta técnica funciona al hacer pasar luz a través de una muestra convertida en vapor, donde cada elemento absorbe luz en una longitud de onda específica, produciendo un espectro único que se analiza para determinar los elementos presentes y su concentración (Agraz Rentería, 2021).

La prueba se realizó en el Laboratorio Instrumental de Alta Complejidad (LIAC) de la Universidad de La Salle en Bogotá, que cumple con las certificaciones y procedimientos requeridos (Ver **Anexo 6**). Es importante destacar que la EAA solo permite analizar un elemento a la vez, por lo que, aunque el Plomo y Cadmio no fueron detectados en la XRF, se seleccionaron para el análisis con EAA debido a su importancia como contaminantes criterio según la Resolución 2254 de 2017, además se seleccionaron los dos contaminantes con mayor presencia según los resultados de la primera prueba para cuantificar su concentración,

Cabe resaltar que la norma establece un monitoreo de sustancias libres en el aire, por lo cual en el presente estudio se empleó una matriz de material particulado para determinar la concentración de los contaminantes presentes dentro de este, a través de un factor de conversión descrito a continuación, teniendo en cuenta que la prueba define la cantidad de material particulado inhalado en 1 día por persona y lo expresa en unidad de masa por área como $\frac{\mu g}{cm^2}$.

Primero, se calcula la concentración total del contaminante, es decir, en el filtro completo:

$$C_p \left(\frac{\mu g}{cm^2} \right) * A (cm^2) = C_t (\mu g)$$

- **C_p : Concentración parcial contaminante**
- **A : Área con muestra del filtro**
- **C_t : Concentración total contaminante**

Se emplea la velocidad de flujo promedio del equipo corregida (Q_{ref}), obtenida en la ($Q_{ref} = Q_a \left(\frac{P_{av}}{P_{ref}} \right) * \left(\frac{P_{ref}}{T_{ref}} \right)$) (Ecuación 1) y el factor de conversión para unidades de tiempo y masa:

$$C_t (\mu g) * Q_{ref} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} * \frac{1 \text{ g}}{1000000 \mu g} = C_t \left(\frac{\text{g}}{\text{m}^3 * \text{día}} \right)$$

Para el análisis, se enviaron secciones de los mismos filtros previamente analizados mediante fluorescencia de rayos X. De cada filtro, se extrajeron cuatro secciones cuadradas con diámetro de 4,7 cm, lo que resultó en un total de 12 muestras. Estas muestras fueron preparadas y presentadas de acuerdo con los requisitos específicos del laboratorio.

Figura 8 Presentación de muestras

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE RESPECTO A LA PRESENCIA DE SUSTANCIAS DE INTERÉS EN EL PM10 EN LA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS, VILLAVICENCIO					
Fecha:	Día 12	Mes 06	Año 24	Hoja:	
REGISTRO DE DATOS DE CAMPO					
Responsable:	Diego Andrey Cortes Navarrete				
Información del equipo					
Nombre:	HI-VOL			Método de ref. PM10:	RFPS-0202-141
Marca:	TISCH	Serial:	3292		
Condiciones de muestreo					
Punto de muestreo:					
Hora (hr-min):					
Temperatura (°C):					
Presión (mmHg):					
ID Filtro:					
Peso Inicial:					
Peso final:					
Diferencia:					
Observaciones: Filtro de cuarzo para el análisis de laboratorio de material particulado (cadmio, plomo y Azufre)					

3.3. Evaluación de la calidad del aire y el riesgo asociado a la comunidad educativa en el Campus Aguas Claras

3.3.1 Análisis de riesgo

3.3.1.1. Índice de calidad del aire. Se realizó el cálculo del Índice de Calidad del Aire (ICA) para determinar la calidad del aire en la zona estudiada. En Colombia, este índice está

regulado por la Resolución 2254 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017), considerando contaminantes como el PM_{10} , como una herramienta utilizada para comunicar al público el nivel de contaminación del aire y sus posibles efectos en la salud. Este índice simplifica la información sobre varios contaminantes en una escala única y fácil de entender.

El ICA se expresa en una escala de 0 a 500 y se divide en categorías que indican la calidad del aire y sus implicaciones para la salud, este índice se calcula a partir de la concentración de cada contaminante y se asigna a la categoría correspondiente, para esto se emplea una fórmula estándar $ICA_p = \frac{I_{alto} - I_{bajo}}{PC_{alto} - PC_{bajo}} * (C_p - PC_{bajo}) + I_{bajo}$ (**Ecuación 4**) y la **Tabla 6** presenta la descripción general del índice de calidad del aire y los puntos de corte para material particulado.

Tabla 6 Descripción general y puntos de corte del índice de calidad del aire

Rango	Color	Estado de la calidad del aire	Puntos de corte del ICA	Efectos
			$PM_{10} \mu g / m^3 \text{ 24 h}$	
0-50	Verde	Buena	0-54	La contaminación atmosférica no supone riesgo bajo para la salud.
51-100	Amarillo	Aceptable	55-154	Posibles síntomas respiratorios en grupos poblacionales sensibles.
101-150	Naranja	Dañina a la salud en grupos sensibles	155-254	Los grupos poblacionales sensibles pueden presentar efectos sobre la salud. • <i>Material particulado:</i> Personas con enfermedades cardíacas, adultos y niños en riesgo.
151-200	Rojo	Dañina para la salud	255-354	Todos los individuos pueden comenzar a experimentar efectos sobre la salud
201-300	Púrpura	Muy dañina para la salud	355-424	Estado de alerta que significa que todos pueden experimentar efectos más graves para la salud.
301-500	Marrón	Peligroso	425-604	Advertencia sanitaria. Toda la población puede presentar efectos adversos en la salud.

Nota. Adaptado de (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017)

La fórmula general para un contaminante específico es la siguiente:

$$ICA_p = \frac{I_{alto} - I_{bajo}}{PC_{alto} - PC_{bajo}} * (C_p - PC_{bajo}) + I_{bajo} \text{ (Ecuación 4)}$$

Donde:

- **ICA_p** : Índice de calidad del aire para el contaminante p
- **C_p** : Concentración medida del contaminante p
- **PC_{alto}** : Punto de corte mayor o igual a C_p
- **PC_{bajo}** : Punto de corte menor o igual a C_p
- **I_{bajo}** : Valor del ICA correspondiente al PC_{alto}
- **I_{bajo}** : Valor del ICA correspondiente al PC_{bajo}

3.3.1.2. Establecer riesgos asociados al PM_{10} y las sustancias halladas. En esta fase final del estudio, se realizó una exhaustiva revisión de la literatura científica con el objetivo de evaluar el riesgo y la peligrosidad asociados a los elementos con mayor prevalencia en los filtros, de acuerdo con los datos obtenidos mediante técnicas de fluorescencia de rayos X (WDXRF) y espectrometría de absorción atómica (EAA). Esta evaluación se centró en determinar las implicaciones toxicológicas y los posibles efectos adversos sobre la salud humana y el medio ambiente.

Posteriormente, se desarrollaron recomendaciones orientadas a la mitigación de los riesgos identificados. Estas recomendaciones incluyen estrategias específicas de control y prevención diseñadas para minimizar la exposición a los contaminantes detectados, con el fin de reducir su impacto en la salud pública y ambiental.

4. Resultados obtenidos

4.1. Identificación de factores de influencia directa en la contaminación del aire en el Campus Aguas Claras

4.1.1 Caracterización de condiciones meteorológicas

4.1.1.1. Recopilación de datos históricos de variables meteorológicas en la zona de estudio. Los datos presentados a continuación fueron recopilados de ocho puntos diferentes debido a la carencia de estaciones meteorológicas cercanas. Este esfuerzo se realizó con el fin de obtener una representación precisa de las variables meteorológicas en el área de estudio. La variación en estos puntos es crucial para llevar a cabo una interpolación, que permitirá calcular un solo valor representativo y crear mapas detallados, esenciales para comprender mejor la distribución espacial de las temperaturas y para identificar patrones o anomalías significativas.

La **Figura 9** muestra la temperatura promedio durante un periodo de muestreo de 18 días en ocho puntos diferentes. Las temperaturas más altas, de 27.4°C, se registraron en los puntos 2, 3 y 8, mientras que la temperatura más baja, de 16.5°C, se observó en el punto 1. Los puntos 4, 5, 6 y 7 tuvieron una temperatura promedio intermedia de 20.8°C. Esto indica una notable variación, con tres puntos presentando temperaturas significativamente más altas.

Figura 9 Datos históricos de temperatura durante el periodo de muestreo

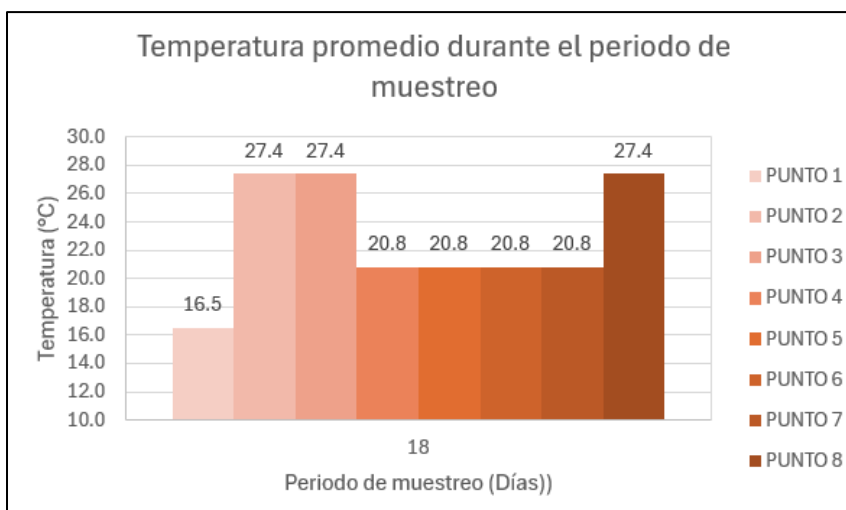
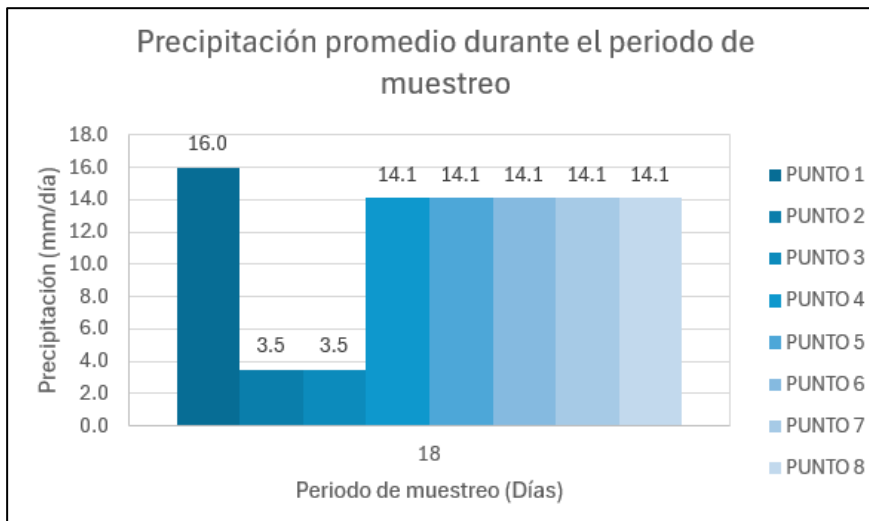
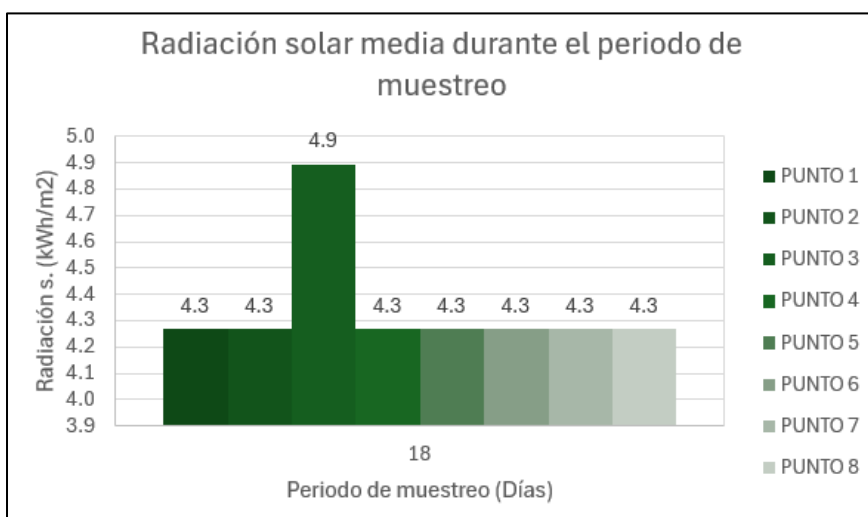


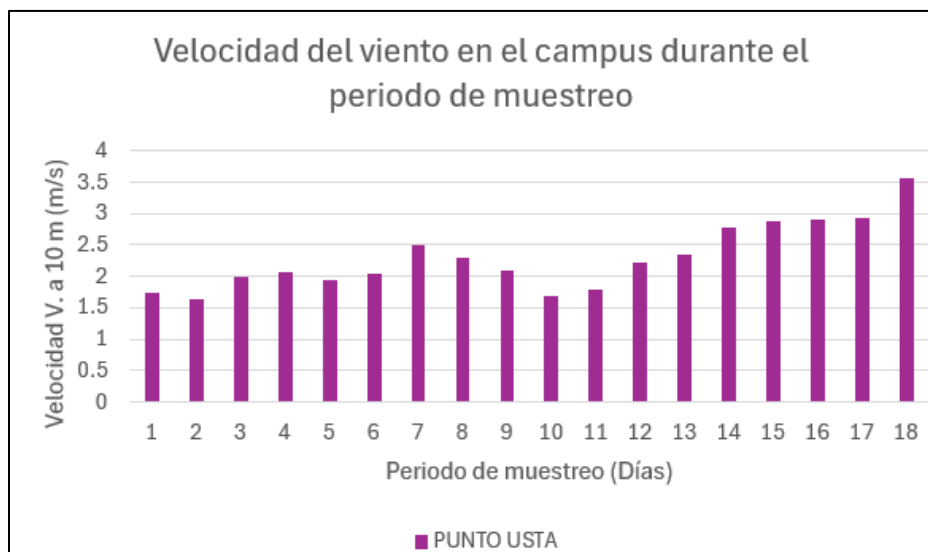
Figura 10 Datos históricos de precipitación durante el periodo de muestreo

La **Figura 10** muestra el comportamiento de las lluvias durante el periodo de muestreo. La precipitación actúa como un agente de limpieza natural, eliminando contaminantes del aire al arrastrarlos hacia el suelo, lo que mejora temporalmente la calidad del aire. Para obtener una interpolación precisa de esta variable, es necesario recolectar datos de varios puntos de medición, ya que puede presentar variaciones como en este caso, donde se aprecia un valor promedio de 16 mm/día en el punto 1 y un valor promedio más bajo de 3,5 mm/día en los puntos 2 y 3.

Figura 11 Datos históricos de radiación solar durante el periodo de muestreo

La **Figura 11** muestra el comportamiento de la radiación solar durante los 18 días de muestreo. Para lograr una interpolación precisa es esencial tomar datos de múltiples puntos de medición, ya que puede variar significativamente en diferentes ubicaciones debido a factores como la topografía, la nubosidad y las características locales del terreno. En este caso el valor más alto corresponde a $4,9 \text{ kWh/m}^2$ el cual se presentó en el punto 2 y un promedio de $4,3 \text{ kWh/m}^2$ para los demás puntos. El movimiento vertical del aire es más común durante el día, cuando la radiación solar calienta el aire cerca de la superficie, haciéndolo más ligero y permitiendo que suba, mientras que el aire frío y más pesado desciende; En cambio, una condición estable, como la inversión térmica, ocurre cuando el aire caliente se encuentra sobre el aire frío, inhibiendo la mezcla vertical y dificultando la dispersión de contaminantes (Pacheco et al., 2020).

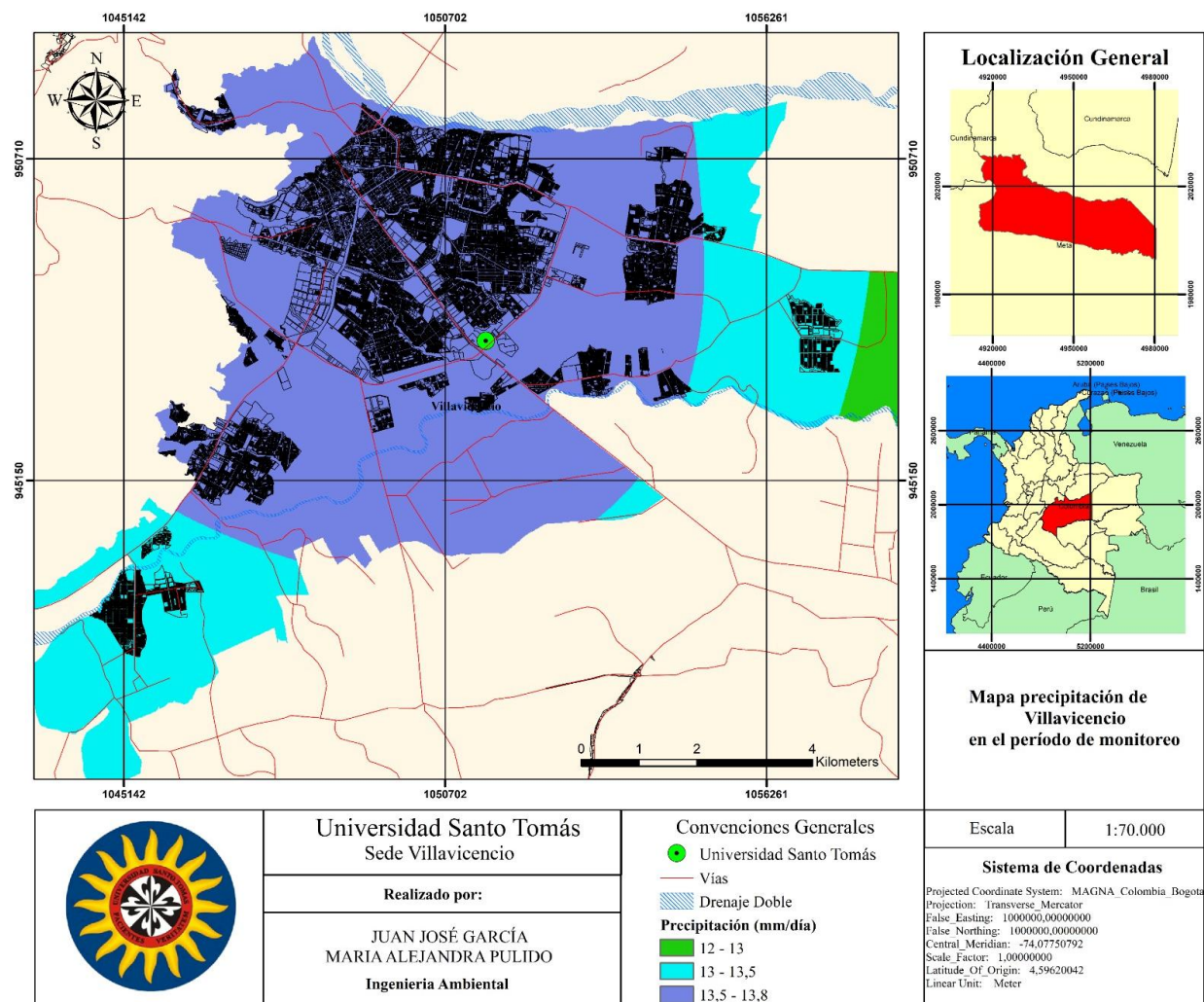
Figura 12 Datos históricos de velocidad del viento durante el periodo de muestreo



La gráfica muestra la velocidad del viento del campus durante un periodo de muestreo de 18 días, con velocidades fluctuando entre 1.5 m/s y 3.5 m/s, alcanzando su máximo en el día 18. Los datos se tomaron exclusivamente en este punto de estudio, ya que no era necesario interpolar velocidades de múltiples ubicaciones; el interés principal radicaba en la dirección del viento y cómo arrastraba los contaminantes hacia el punto de muestreo.

4.1.1.2. Reporte de condiciones meteorológicas de la zona de estudio. Los resultados del estudio hidrometeorológico muestran patrones detallados de condiciones atmosféricas observadas durante los 18 días de muestreo.

Figura 13 Mapa de precipitación de la zona de estudio

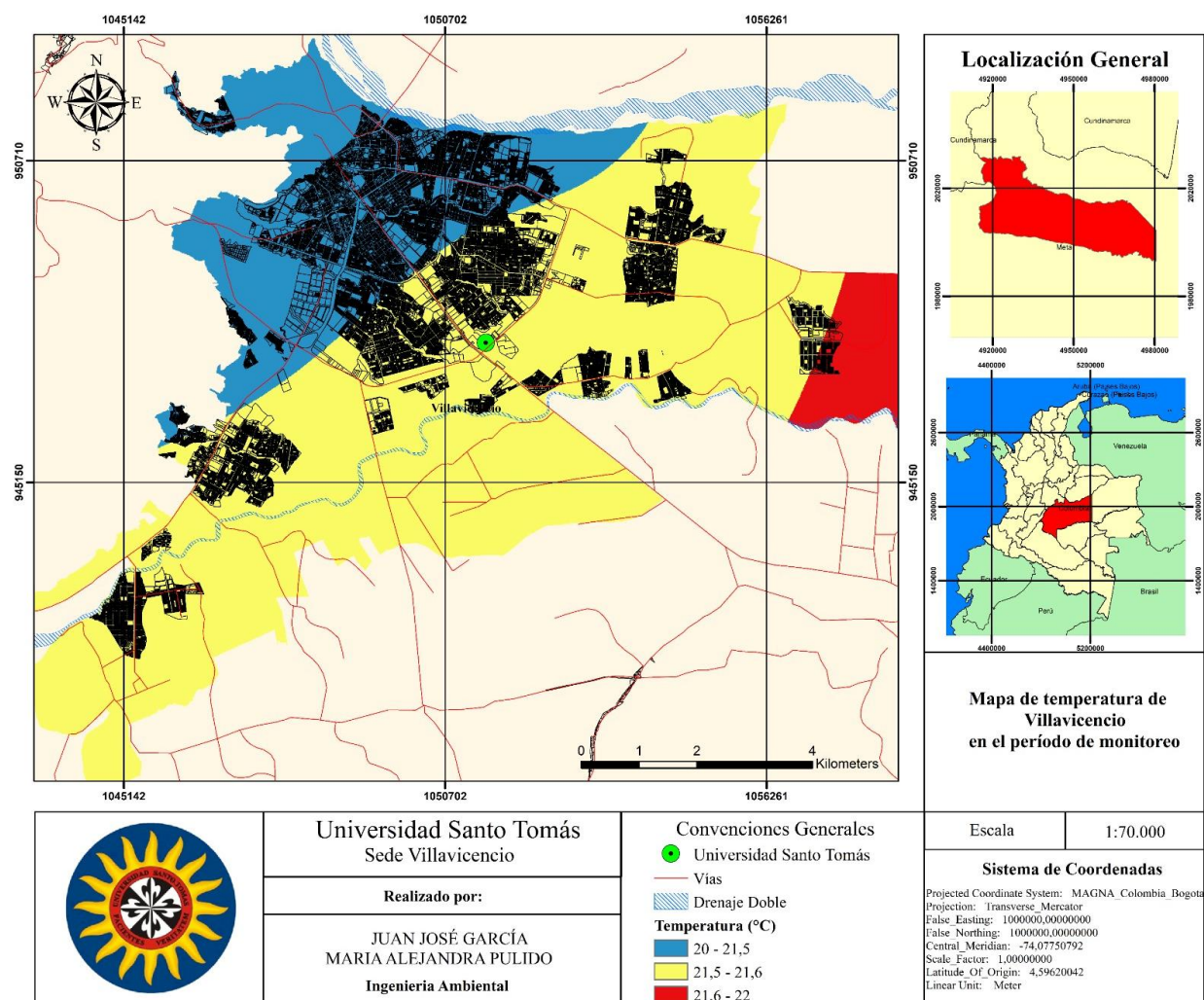


El mapa de precipitación muestra la distribución espacial de las lluvias, a través de líneas de igual cantidad registrada en la Universidad Santo Tomás de Villavicencio durante el período de estudio. La precipitación afecta la dispersión y deposición de partículas contaminantes como el PM_{10} , ya que las áreas con mayor precipitación pueden experimentar una reducción en la

concentración de contaminantes en el aire debido a la deposición de las partículas en el suelo y cuerpos de agua cercanos.

Para el área de estudio se logra identificar que el punto de muestreo se encuentra ubicado en una zona la cual presenta precipitaciones que varían entre 13.5 mm/día y 13.8 mm/día durante los días de monitoreo.

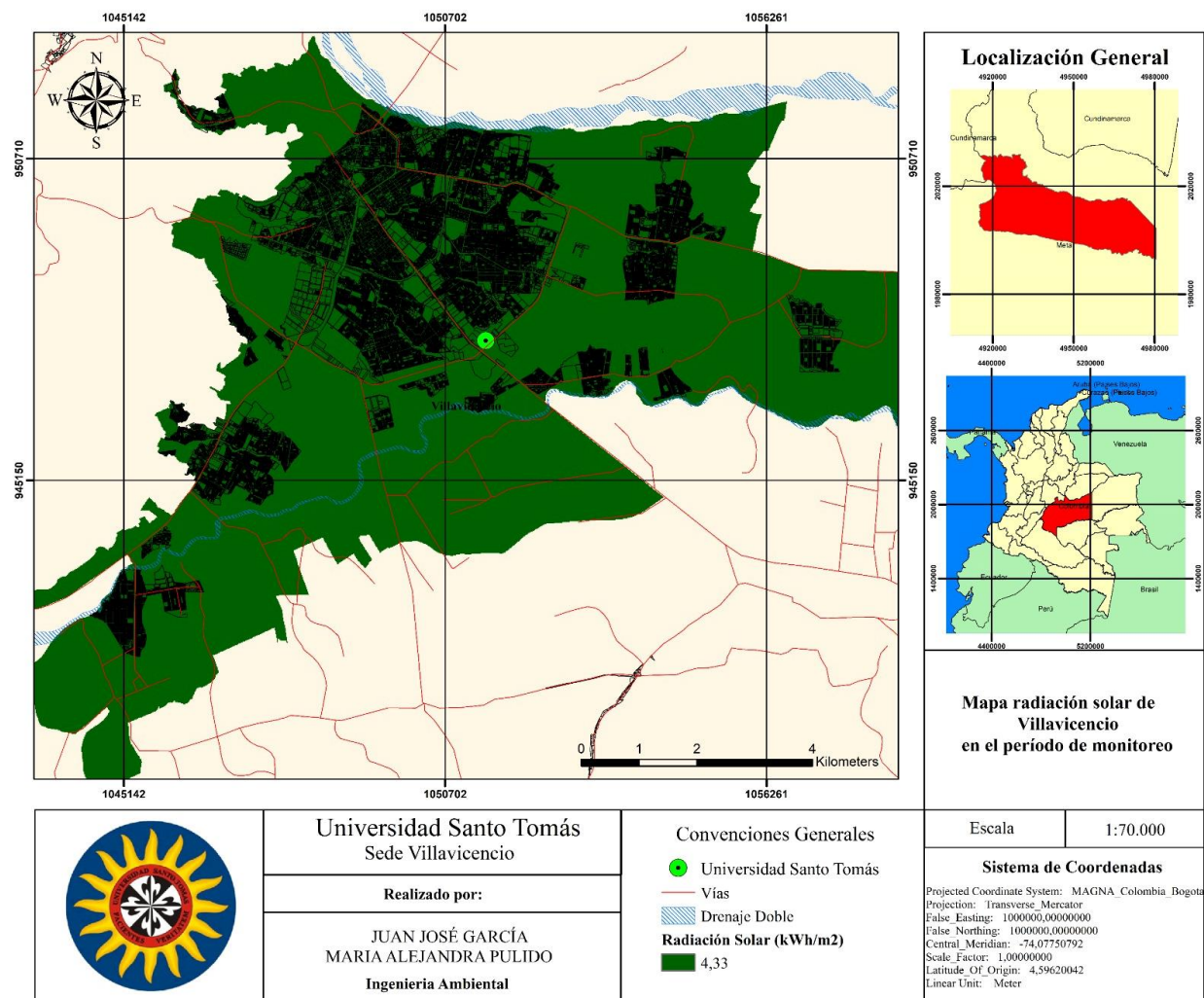
Figura 14 Mapa de temperatura de la zona de estudio



Para entender cómo las variaciones de temperatura influyen en la estabilidad atmosférica y, por ende, en la dispersión de contaminantes como el PM_{10} se generó el mapa de temperatura, el cual muestra la distribución espacial de las temperaturas registradas en la zona de estudio durante el período de muestreo. Las zonas con temperaturas más altas pueden experimentar una mayor

formación de contaminantes secundarios debido a la mayor actividad fotoquímica, mientras que las temperaturas más bajas pueden afectar la dispersión y dilución de los contaminantes. En términos de temperatura se identifica que el punto de muestro se encuentra ubicado en un área con temperaturas promedio de 21.5 °C y que dicha temperatura no varía durante los días de monitoreo.

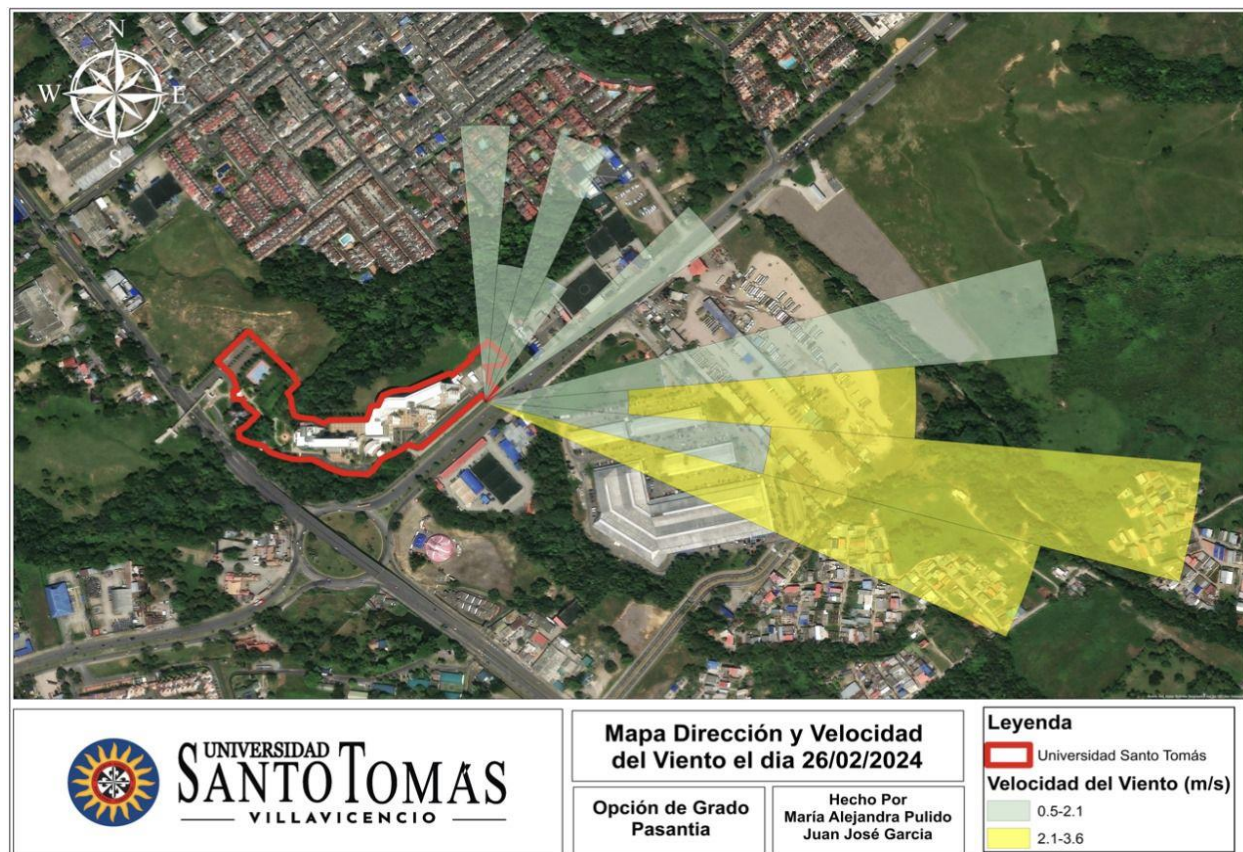
Figura 15 Mapa de radiación solar de la zona de estudio



El mapa de radiación solar presente representa la cantidad de energía solar recibida en diferentes áreas de la universidad durante el período de estudio. Esta variable es clave en la dispersión de contaminantes, ya que calienta el aire, haciéndolo subir y mezclarse con el aire frío, lo que facilita la dispersión de estos, evitando que queden atrapados cerca del suelo (Pacheco et

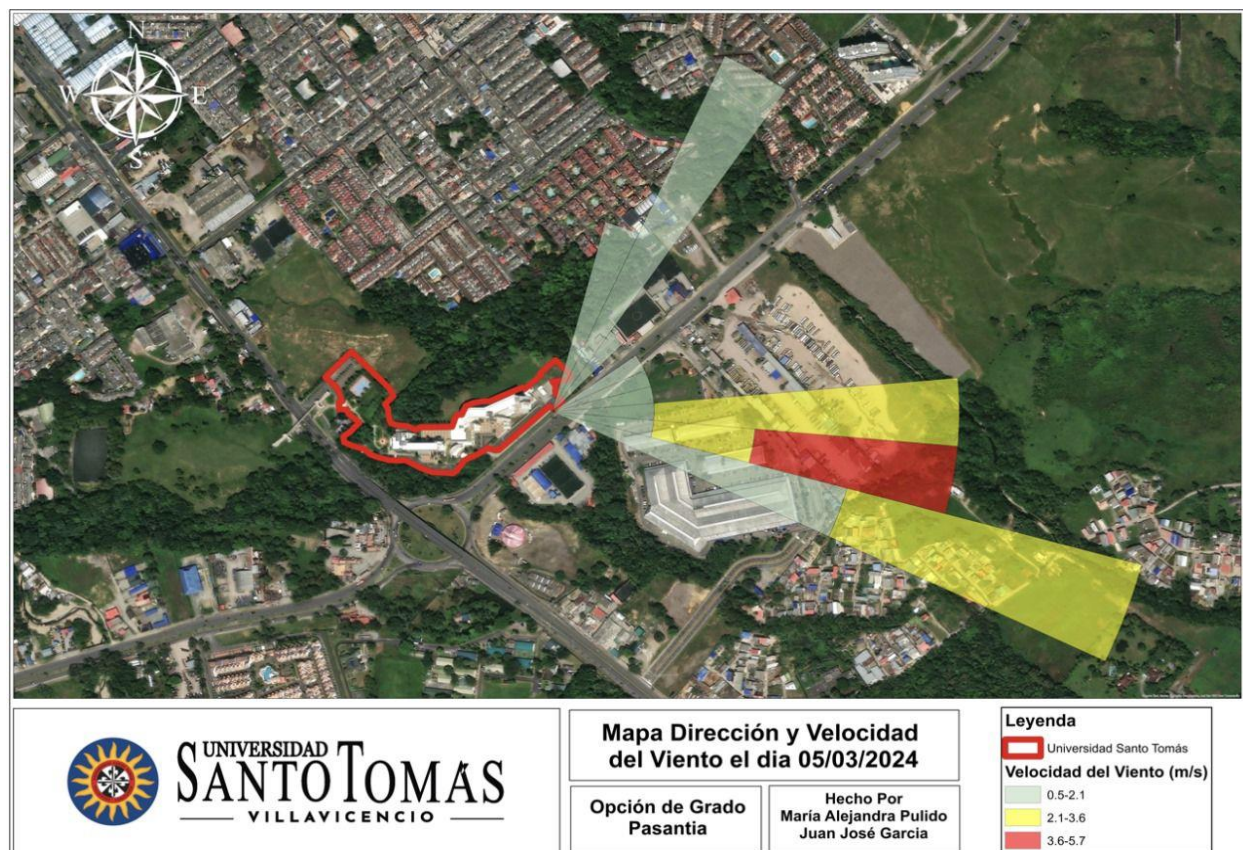
al., 2020). Para el área donde está ubicado el punto de muestreo se evidencia que la radiación solar se mantiene en un valor de 4.33 kWh/m² durante los días de monitoreo.

Figura 16 Mapa de viento de la zona de estudio (26 febrero)

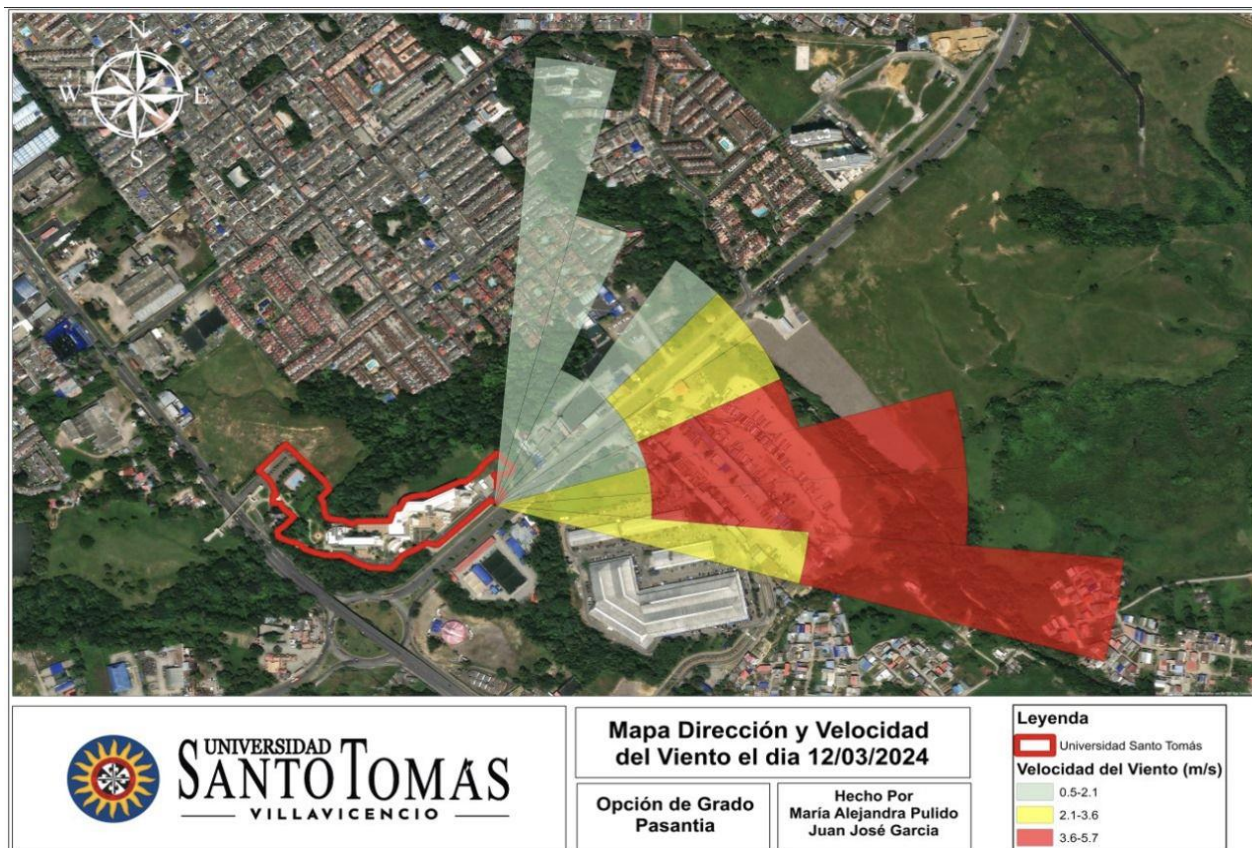


El mapa de viento muestra la velocidad y dirección del viento en la zona, esto apoyado en las rosas de viento generadas para los dieciocho (18) días de muestreo. Esta variable es fundamental para el transporte y dilución de los contaminantes, debido a que a mayor velocidad del viento, más aire se mueve a través de la zona donde se emiten los contaminantes, lo que disminuye su concentración, además, determina cuánto tiempo tardan los contaminantes en viajar desde la fuente hasta los receptores (Venegas & Mazzeo, 2012).

El mapa fue generado con base en la fecha de recolección del filtro F4, el cual fue enviado al laboratorio para análisis. Esta fecha específica fue seleccionada de forma aleatoria y evidencia que en su mayoría las corrientes de viento se dirigen desde el sureste al punto de muestreo con una velocidad promedio de 2.1 m/s.

Figura 17 Mapa de viento de la zona de estudio (5 marzo)

El mapa de viento presente en la **Figura 17** muestra la velocidad y dirección del viento el 5 de marzo, información fundamental para comprender la dispersión de contaminantes. Este mapa se generó a partir de la fecha de recolección del filtro F13, que se envió al laboratorio para su análisis. La selección de esta fecha, aunque aleatoria, revela que las corrientes de viento provenían desde el sureste hacia el punto de muestreo, con velocidades fluctuando entre 2.1 m/s y 5.7 m/s. Estas velocidades son indicativas de condiciones meteorológicas moderadas, que pueden influir en la dispersión y concentración de contaminantes en la atmósfera, lo cual es crucial, ya que velocidades más bajas pueden permitir una mayor acumulación de contaminantes, mientras que velocidades más altas tienden a dispersar los contaminantes más rápidamente, reduciendo su concentración en el aire (Pacheco et al., 2020). Además, la dirección del viento desde el sureste sugiere que las fuentes de contaminación ubicadas en esa dirección pueden haber contribuido significativamente a la calidad del aire en el punto de muestreo.

Figura 18 Mapa de viento de la zona de estudio (12 de marzo)

El mapa de viento muestra la velocidad y dirección del viento en el día 12 de Marzo. El mapa fue generado con base en la fecha de recolección del filtro F18, el cual fue enviado al laboratorio para análisis. Esta fecha específica fue seleccionada de forma aleatoria y evidencia que las corrientes de viento que se dirigen hacia el punto de muestreo provienen del sur este con velocidades que varían entre 2.1m/s y 5.7m/s, también se evidencian corrientes de viento que provienen del noreste con velocidades que varían de 0.5m/s a 2.1m/s.

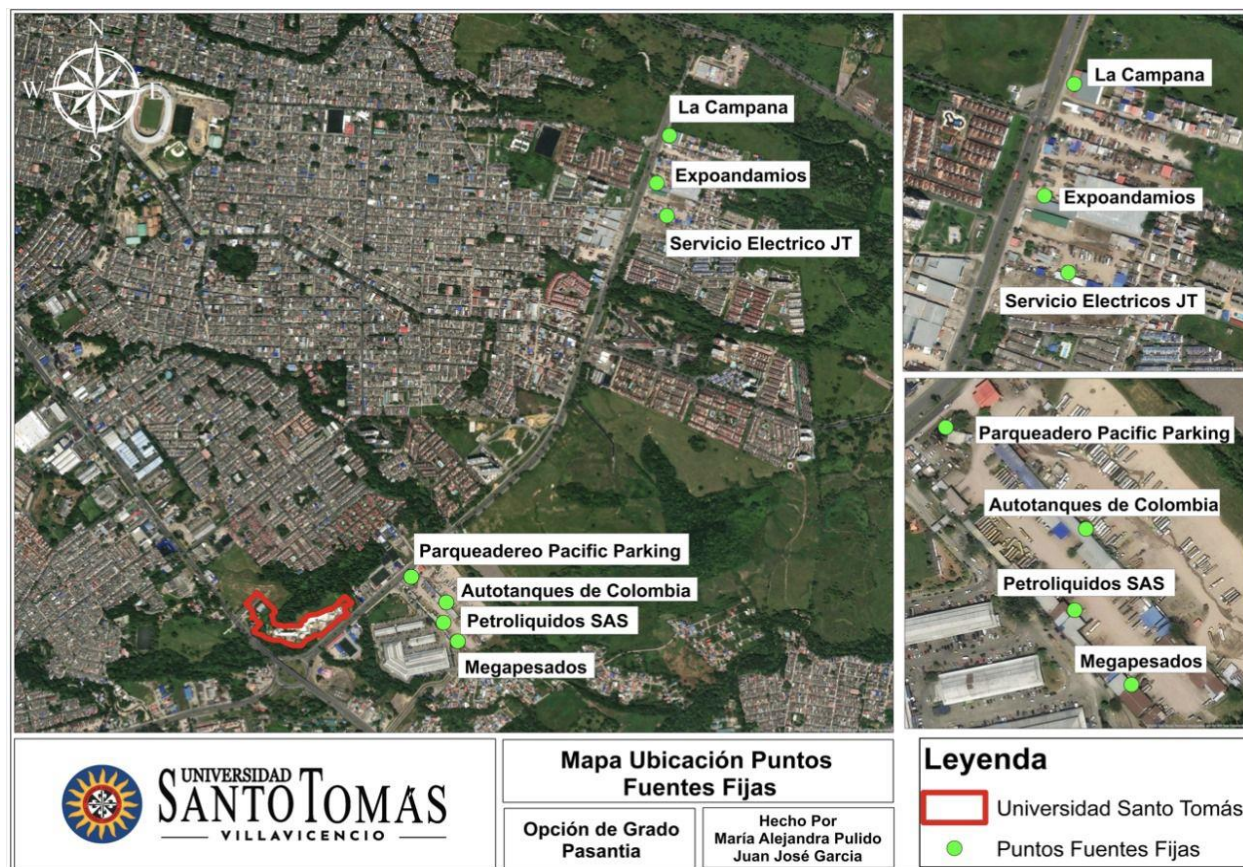
En general, la climatología de Villavicencio durante el período de estudio presenta variaciones significativas en precipitación, temperatura y radiación solar, lo que influye en la dispersión y deposición de contaminantes atmosféricos. Comparando estos resultados con los parámetros normales de la región, se puede concluir que Villavicencio, con su clima cálido y húmedo característico, experimenta una variabilidad estacional que afecta la calidad del aire. Las lluvias frecuentes y la alta radiación solar durante el día, combinadas con los patrones de viento, juegan un papel crucial en la dinámica de la dispersión de contaminantes en esta área urbana.

4.1.2 Cuantificación de fuentes de emisión contaminante

4.1.2.1. Fuentes fijas cercanas a la zona de estudio. Como parte del análisis de la calidad del aire, en la dirección de predominancia del viento hacia el punto de muestreo, se identificaron 5 industrias de gran interés debido a sus emisiones. Estas industrias son: La Campana (2,42 km), Expoandamios (2,25 km), Servicio Eléctrico JT (2,17 km), Parqueadero Pacific Parking (600 m), Autotankes Colombia 610 m), Petrolíquidos S.A.S (620 m), y Mega Pesados 650 m).

La **Figura 19** muestra el mapa generado con ArcGIS para representar la localización precisa de estas industrias, permitiendo visualizar su proximidad a la zona de estudio y la posible influencia de sus emisiones. El análisis de la dirección del viento reveló que los contaminantes emitidos por estas industrias son transportados hacia la zona de estudio, lo que contribuye a la degradación de la calidad del aire en dicha área.

Figura 19 Mapa de fuentes fijas



Para comprender de manera más detallada las emisiones contaminantes asociadas a cada sector industrial, se llevó a cabo un análisis exhaustivo en el que se identificaron y catalogaron las sustancias contaminantes específicas vinculadas a las actividades productivas comúnmente sujetas a emisiones de cada industria. Este enfoque permitió una caracterización precisa de las fuentes de emisión.

Tabla 7 Composición del PM_{10} según el tipo de industria documentada.

Industria	Actividades sujetas a emisión	Sustancias contaminantes
La Campana	Procesamiento de metales	Entre los principales contaminantes están los hidrocarburos y metales pesados como Plomo, Zinc y Cadmio. Dependiendo de su concentración, tiempo de exposición y toxicidad, estos contaminantes pueden ser mortales o causar graves problemas de salud tanto a corto como a largo plazo (Trujillo et al., 2019).
		Una de las principales fuentes de emisión de metales pesados en la atmósfera se atribuyen esta industria, dichas emisiones se bioacumulan en la atmosfera y se convierten en un problema ambiental el cual afecta tanto a los seres humanos como al medio ambiente (Pérez Fadul & Hernández H, 2006).
Expoandamios	Procesamiento de metales y suministros de construcción.	Durante el procesamiento de metales y el suministro de materiales de construcción se genera una variedad de sustancias nocivas para la salud y el medio ambiente, entre estas sustancias se encuentran metales pesados como Plomo, Cadmio, Zinc, Cobre Y Cromo, liberados durante el corte, molienda y soldadura de metales, además se libera Óxido De Hierro, Óxido De Aluminio y material particulado (Mamani Huanca, 2022).

Tabla 7 Continuación

Servicio eléctrico JT	Mantenimiento de sistemas eléctricos.	La combustión incompleta de combustibles fósiles puede generar sustancias como, Benceno y Tolueno, Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrógeno (NOx), PM_{10} (Mijay et al., 2004).
	Reparación de componentes eléctricos.	Entre los componentes de los dispositivos eléctricos y se encuentran sustancias tóxicas, como Plomo, Cobre y Cadmio que, al ser incinerados generan impactos ambientales significativos (Hidalgo Aguilera, 2010).
	Combustión de vehículos de carga	El PM_{10} generado por la combustión de vehículos de contiene sustancias nocivas para la salud y el medio ambiente, que incluyen hidrocarburos, Plomo y Cadmio que son liberados por el desgaste de motores y sistemas de frenado, y material particulado (Herrera Murillo et al., 2011).
Petrolíquidos S.A.S	Refinación de productos petroquímicos y combustión de vehículos	Durante el proceso de refinación de petroquímicos, se liberan compuestos nocivos como Óxidos de Azufre (SOx), Óxidos de Nitrógeno (NOx), hidrocarburos, y compuestos orgánicos volátiles (COVs), emitidos en forma de gases y partículas (Aguilera López, 2018).
	Evaporación durante el transporte y almacenamiento de líquidos inflamables.	La evaporación durante el transporte y almacenamiento de líquidos inflamables pueden contener una variedad de sustancias nocivas para la salud y el medio ambiente, entre estas sustancias se incluyen compuestos orgánicos volátiles (COVs), metales pesados como Plomo y Cadmio (Clavijo Mayorga & Padilla Erazo, 2014).
	Oxidación de azufre emitido por procesos petroquímicos.	La oxidación incluye sustancias formadas por reacciones químicas, esto comprende Sulfatos y PM_{10} y otros residuos de combustión presentes en los procesos petroquímicos (Ramírez, 2023).

Tabla 7 Continuación

Mega pesados	Mantenimiento de maquinaria pesada	Durante el mantenimiento de maquinaria pesada, se pueden generar partículas de Plomo y Cadmio, que provienen del desgaste de componentes como frenos y engranajes, así como material particulado generado por la combustión incompleta de la maquinaria y partículas liberadas durante el lijado y pulido (Pazmiño, 2022).
	Combustión de vehículos	La contaminación por la combustión de vehículos incluye una variedad de sustancias que pueden ser perjudiciales para la salud y el medio ambiente, como hidrocarburos, Benceno y Tolueno, material particulado y cenizas, Plomo, Cadmio y Zinc debido al desgaste de los motores y sistemas de frenado (Andara, 2020).
Autotanques Colombia	Almacenamiento de líquidos inflamables	Pueden dispersarse compuestos orgánicos volátiles (COVs) como benceno, tolueno y xileno, derivados de la evaporación, metales pesados por aditivos como el plomo y corrosión metálica (Armijos, 2020).
	Combustión de vehículos	Dispersa varios compuestos, como óxidos de nitrógeno (NOx), el monóxido de carbono (CO), el dióxido de carbono (CO ₂) y PM ₁₀ , que pueden contener carbono, metales pesados y óxidos de azufre (SOx). Además, plomo, cadmio y níquel del desgaste de componentes del motor y sistemas de escape (Contreras et al., 2020).
Parqueadero Pacific Parking	Emisiones de los motores y desgaste de los vehículos	Se generan óxidos de nitrógeno (NOx), monóxido de carbono (CO), y partículas finas (PM _{2.5} y PM ₁₀), que provienen de la combustión y desgaste de frenos y neumáticos, también se emiten compuestos orgánicos volátiles (COVs), dióxido de azufre (SO ₂) y plomo, cadmio y cromo (González & Arciniegas, 2019).

Nota. En la tabla se presentan las sustancias generadas en cada industria según referentes.

4.1.2.2. Fuentes móviles. El informe suministrado por la Secretaría de Movilidad de Villavicencio hace parte de la formulación del Plan Maestro de Movilidad Sostenible y Segura 2022. Este plan tiene como objetivo principal mejorar la movilidad urbana a través de estrategias que promuevan un transporte más eficiente, seguro y con menor impacto ambiental. El informe abarca diversos aspectos, entre ellos el inventario del parque automotor.

Figura 20 *Inventario de fuentes móviles*

COMBUSTIBLE	TIPO DE VEHÍCULO	CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (NÚMERO)	PARTICIPACIÓN (%)
GASOLINA	AUTOMOVIL	TWC	AUTOMOVILES DE AÑO MODELO MAYOR DE 1996	21.118	72,11%
GASOLINA	AUTOMOVIL	NO TWC	AUTOMOVILES DE AÑO MODELO MENOR DE 1996	2.854	9,75%
DIESEL OIL	AUTOMOVIL			5.313	18,14%
SUB-TOTAL	AUTOMOVIL			29286	100,00%
DIESEL OIL	BUS NO ARTICULADO			1.901	100,00%
SUB-TOTAL	BUS NO ARTICULADO			1901	100,00%
GASOLINA	BUS SERVICIO ESPECIAL	TWC	BUSES DE AÑO MODELO MAYOR DE 1996	133	100,00%
SUB-TOTAL	BUS SERVICIO ESPECIAL			133	100,00%
DIESEL OIL	CAMION URBANO			1.054	100,00%
SUB-TOTAL	CAMIÓN URBANO			1054	100,00%
GASOLINA	MOTOCICLETA	2T		444	0,55%
GASOLINA	MOTOCICLETA	4T		80.032	99,45%
SUB-TOTAL	MOTOCICLETA			80476	100,00%
GASOLINA	TAXI	TWC	TAXI DE AÑO MODELO MAYOR DE 1996	4.425	95,18%
DIESEL OIL	TAXI			220	4,74%
GAS NATURAL	TAXI	CONVERTIDOS		4	0,09%
SUB-TOTAL	TAXI			4649	100,00%
DIESEL OIL	TRACTOCAMION			378	100,00%
SUB-TOTAL	TRACTOCAMION			378	100,00%
TOTAL PARQUE AUTOMOTOR VILLAVICENCIO				117.877	

Nota. Tomado de Secretaria de movilidad de Villavicencio.

Como se puede observar, el parque automotor de Villavicencio presenta una composición variada con una predominancia de motocicletas, que constituyen el 68.28% del total de vehículos. Este sector está compuesto en mayor parte por motocicletas de cuatro tiempos (99.45%), que aunque suelen tener menores emisiones por vehículo comparado con los de dos tiempos, su gran cantidad las convierte en una fuente significativa de contaminación.

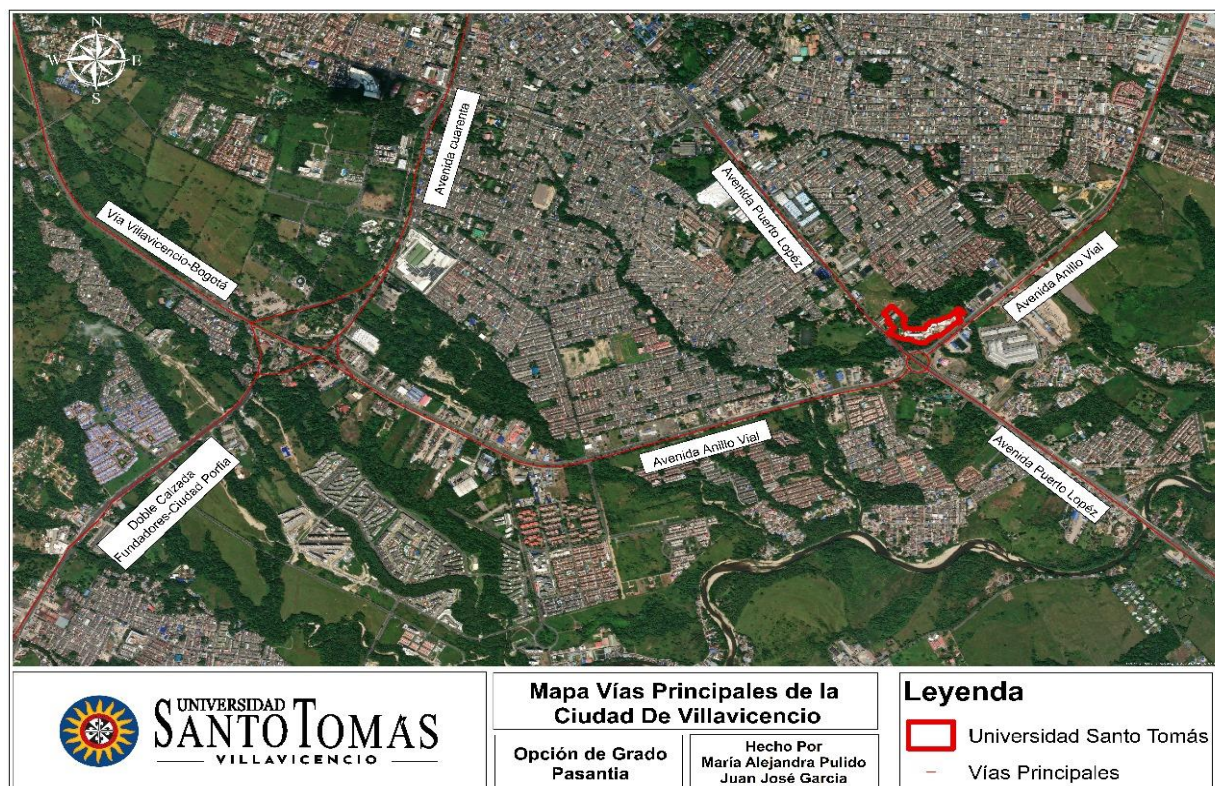
Los automóviles representan el 24.85% del total y la mayoría están equipados con catalizadores de tres vías (TWC), indicando un avance en el control de emisiones. Sin embargo, la presencia de automóviles sin TWC y vehículos a Diesel, que suman un 27.89% de los automóviles,

sugiere que aún existen fuentes considerables de NO_x y PM_{10} , especialmente los vehículos más antiguos y los que utilizan Diesel.

La presencia de vehículos a Diesel como buses no articulados, camiones urbanos y tractocamiones, aunque representan una menor fracción del parque automotor, son preocupantes debido a sus altas emisiones de NO_x y PM_{10} . Estos vehículos son esenciales para el transporte urbano y de carga, pero su impacto en la calidad del aire es significativo. La totalidad de buses y camiones urbanos funcionan con Diesel, lo que implica una contribución elevada a la contaminación por partículas y óxidos de nitrógeno. Esta información es crucial para diseñar estrategias de mitigación para la reducción de emisiones de los más contaminantes.

Cabe resaltar que, aunque el estudio no se enfoca en el Anillo vial, este corredor es de gran importancia para la ciudad de Villavicencio, ya que posee tres salidas intermunicipales y una alta afluencia de carga pesada, por lo cual genera una influencia relevante sobre la zona de estudio debido a la carga de contaminantes atmosféricos emitidos por el parque automotor que esta transporta.

Figura 21 Mapa de intersección anillo vial



4.2. Determinación de la concentración de material particulado en el campus y las sustancias de interés presentes

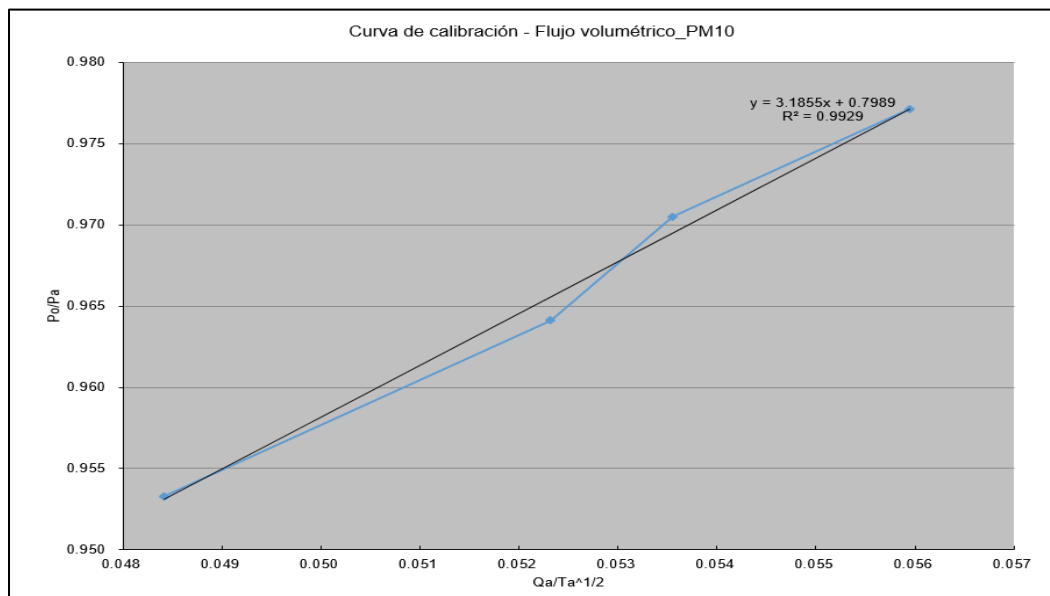
4.2.1 Medición de material particulado PM_{10}

4.2.1.1. Calibración del equipo muestreador de partículas. Una vez realizada la calibración, se presentan los datos obtenidos en la **Figura 22**. Esto con el fin de construir la curva de calibración presente en la **Figura 23**.

Figura 22 Hoja de calibración TE-6070V HIVOL

  TE-6070V Calibration									
Site Information									
Location: Anillo vial				Site ID: 1		Date: 23-feb-24			
Sampler: TE-5070				Serial No: 2603 PM		Tech: Garcia&Pulido			
Site Conditions									
Temp (deg F):		86.0							
Ta (deg K):		303				Barometric Press (in Hg):		29.90	
Ta (deg C):		30				Pa (mm Hg):		759	
Calibration Orifice									
Make: Tisch						Qa Slope: 1.00057			
Model: TE-5028A						Qa Intercept: 0.00410			
Serial#: 3392						Calibration Due Date: 10-ago-17			
Calibration Information									
Run Number	Orifice "H2O	Qa m3/min	x Qa/(Ta ^{1/2})	Sampler "H2O	Pf mm Hg	y Po/Pa	Look Up m3/min	% of Diff	
1	1.80	0.843	0.048	19.00	35.459	0.953	1.139	0.35	
1	1.80	0.843	0.048	19.00	35.459	0.953	1.140	0.35	
1	2.10	0.911	0.052	14.60	27.248	0.964	1.159	0.27	
1	2.20	0.932	0.054	12.00	22.395	0.971	1.160	0.24	
1	2.40	0.974	0.056	9.30	17.356	0.977	1.186	0.22	

Nota. Adaptado a partir de (Tisch Environmental, 2024)

Figura 23 Construcción de la curva de calibración

$$m=3.1855, b = 0.7989, r^2 = 0.9929$$

La gráfica representa una recta de regresión lineal, que se describe por la ecuación $y = mx + b$, donde la pendiente (m) indica que por cada unidad de aumento en el valor de x (la variable independiente), el valor de y (la variable dependiente) aumenta en 3.1855 unidades. Esto nos dice que el equipo es muy sensible a los cambios en la concentración y cuando esta aumenta, la señal medida por el equipo también aumenta de manera significativa; El valor del intercepto (b) indica que indica que cuando $x = 0$, el valor de $y = 0.7989$, es decir incluso cuando no hay sustancia presente, el equipo podría mostrar una pequeña lectura, lo cual es normal y podría deberse a un pequeño nivel de ruido o un sesgo sistemático; Un valor de valor de r^2 cercano a 1 indica que el modelo lineal explica el 99.29% de la variabilidad en los datos, lo que sugiere una relación muy fuerte entre x y y , es decir, que el modelo ajusta casi perfectamente los datos, lo que respalda su uso en predicciones futuras y análisis. En general, los datos indican que el equipo muestreador está calibrado adecuadamente y es capaz de proporcionar mediciones precisas y consistentes.

4.2.1.2. Monitoreo en campo. La presente sección presenta los resultados obtenidos del monitoreo realizado en el campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás, en colindancia con el anillo vial de la ciudad de Villavicencio. Los datos del cálculo de la concentración diaria de

PM₁₀ corregida a condiciones de referencia se pueden apreciar en el **Anexo 7** y en la **Figura 24** se detalla esta variación y la concentración promedio durante el período de dieciocho (18) días.

Figura 24 Concentración de PM₁₀ durante el periodo de muestreo

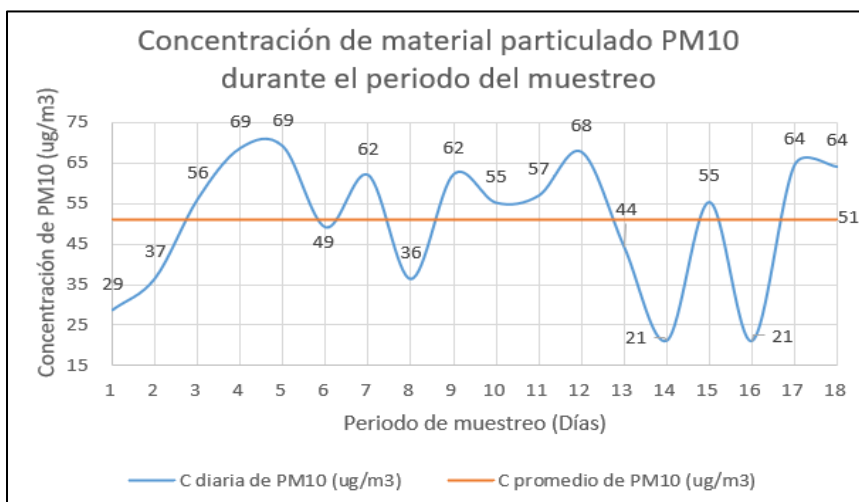
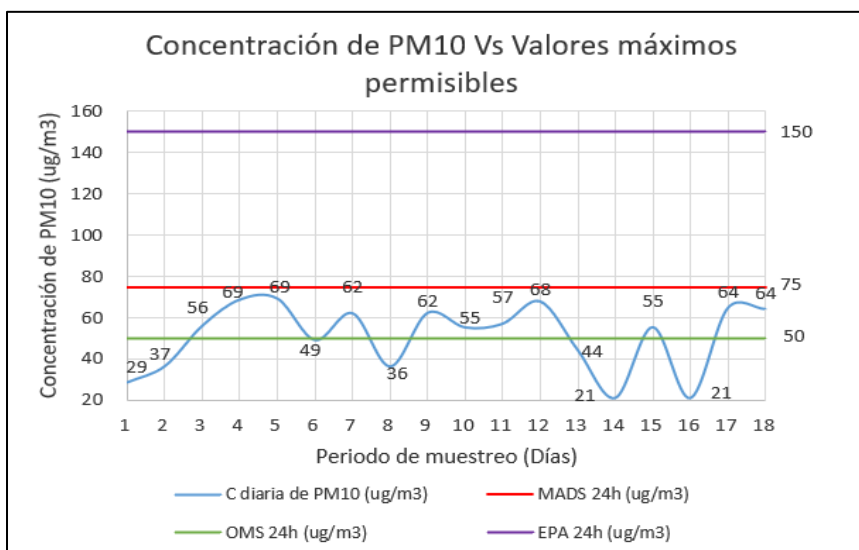


Figura 25 Comparación de la concentración de PM₁₀ con la normatividad vigente



Nota. La gráfica muestra la comparación de la concentración diaria de material particulado PM₁₀ y los niveles máximos recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) para este contaminante en un tiempo de exposición de 24 horas.

Al analizar los datos, se aprecia que en varios días la concentración de PM_{10} supera el límite recomendado por la OMS de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, esto significa que están por encima del nivel que la organización mundial de la salud considera seguro para la salud humana. Este incumplimiento frecuente sugiere que la calidad del aire en el área estudiada podría estar afectando negativamente la salud de los residentes, especialmente aquellos más vulnerables como niños, ancianos y personas con enfermedades respiratorias.

En cuanto al límite de la EPA de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ninguno de los valores de concentración de PM_{10} registrados excede este umbral. Esto indica que, según los estándares de la EPA, la calidad del aire no representa un riesgo inmediato y grave para la salud pública en los días medidos.

Por último, al comparar los valores de concentración con el límite del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, también se observó que ninguno de los días medidos supera este umbral. Esto sugiere que, de acuerdo con los estándares nacionales colombianos, la calidad del aire se considera aceptable en términos de concentraciones de PM_{10} .

De manera general, los resultados sugieren que, si bien el aire no está peligrosamente contaminado según los estándares más permisivos, hay un impacto negativo potencial sobre la salud pública al exceder el umbral de la OMS. Se deberían considerar medidas para mejorar la calidad del aire y reducir la exposición a partículas para proteger la salud de la población.

4.2.2 *Análisis elemental cuantitativo*

4.2.1.3. Detección de sustancias en material particulado PM_{10}

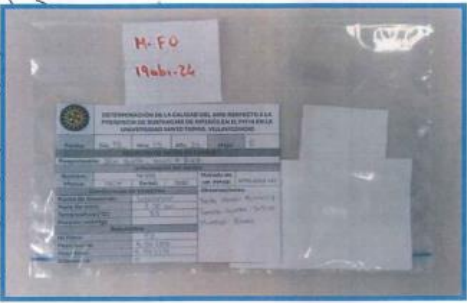
- Espectrometría de fluorescencia de rayos X por longitud de onda (WDXRF)**

La siguiente sección presenta los resultados obtenidos del análisis de laboratorio realizado por la Universidad Nacional, utilizando la técnica de fluorescencia de rayos X, en cuatro muestras enviadas para su estudio. Este análisis permitió identificar y determinar el porcentaje en peso de los elementos presentes en las muestras de PM_{10} recogidas en el campus. Los resultados revelaron la presencia y concentración de diversos elementos, proporcionando información crucial sobre la composición química de las partículas. La **Figura 26** muestra los resultados para el blanco del

análisis donde el 99,65% corresponde a Silicio, lo cual se tiene en cuenta para eliminar su presencia del análisis.

Figura 26 Resultados muestra 1 (Filtro blanco)

Nombre	Elemento y/o Compuesto	XRF-8940 M-F0 -U. SANTO TOMAS- (% en peso)
Silicio	Si	99,65%
Cloro	Cl	0,08%
Aluminio	Al	0,07%
Azufre	S	0,06%
Magnesio	Mg	0,05%
Sodio	Na	0,03%
Calcio	Ca	0,03%
Hierro	Fe	0,03%
Potasio	K	0,02%

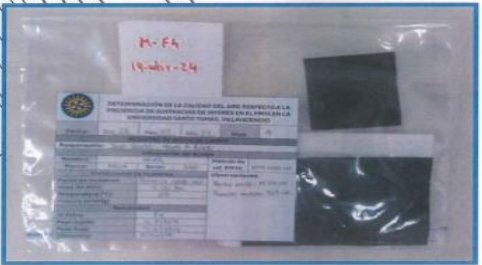


En los filtros de los días 4, 13 y 18 del muestreo, los elementos principalmente hallados incluyen Aluminio (Al), Azufre (S), Cloro (Cl), Calcio (Ca), Sodio (Na), Magnesio (Mg), Hierro (Fe), Potasio (K), Fósforo (P) y Titanio (Ti). Cada muestra evidencia una variabilidad notable en los porcentajes de estos elementos, destacándose especialmente en Aluminio y Azufre. Por ejemplo, los porcentajes de Aluminio van desde aproximadamente 19.00% hasta 31.32%, reflejando una amplia gama de composiciones entre las muestras. El Azufre exhibe la mayor variabilidad, con concentraciones desde un mínimo de 0.06% hasta un máximo de 30.89%, indicando posibles diferencias significativas en la naturaleza mineralógica de las muestras analizadas.

En contraste, elementos como Calcio muestran concentraciones más consistentes, con valores oscilando entre 10.03% y 12.66% en las diferentes muestras. Por otro lado, algunos elementos presentan concentraciones más bajas en general, variando entre 0.27% y 11.59% para Sodio, y entre 0.02% y 12.27% para Potasio y una presencia moderada de Hierro, junto con niveles más bajos de Fósforo y Titanio, para completar el panorama elemental.

Figura 27 Resultados muestra 2 (Filtro 4)

Nombre	Elemento y/o Compuesto	XRF-8941 M-F4 -U. SANTO TOMAS- (% en peso)
Aluminio	Al	31,32%
Azufre	S	25,26%
Calcio	Ca	11,89%
Sodio	Na	10,77%
Potasio	K	8,22%
Magnesio	Mg	6,45%
Hierro	Fe	2,38%
Cloro	Cl	1,42%
Fósforo	P	1,14%
Titanio	Ti	0,88%
Cobre	Cu	0,27%


Figura 28 Resultados muestra 3 (Filtro 13)

Nombre	Elemento y/o Compuesto	XRF-8942 M-F13 -U. SANTO TOMAS- (% en peso)
Azufre	S	30,89%
Aluminio	Al	29,52%
Potasio	K	12,21%
Calcio	Ca	11,59%
Sodio	Na	5,69%
Magnesio	Mg	3,55%
Hierro	Fe	2,61%
Fósforo	P	2,48%
Titanio	Ti	1,48%



Universidad
Nacional
de Colombia

Figura 29 Resultados muestra 4 (Filtro 18)

Nombre	Elemento y/o Compuesto	XRF-8943 M-F21 -U. SANTO TOMAS- (% en peso)
Azufre	S	28,80%
Aluminio	Al	28,20%
Potasio	K	12,66%
Calcio	Ca	10,30%
Sodio	Na	9,81%
Magnesio	Mg	4,76%
Fósforo	P	2,34%
Hierro	Fe	2,26%
Cloro	Cl	0,89%



Es esencial considerar el límite de detección de esta técnica lo cual explica que no se presenten metales pesados como Plomo y Cadmio, que son un criterio considerado en la Resolución 2254 de 2017, los cuales son elementos comúnmente encontrados en la atmósfera debido a las emisiones de fuentes móviles y algunas industrias, es por ello que aunque la técnica XRF proporciona una herramienta valiosa para el análisis cuantitativo de elementos, la variabilidad observada entre las muestras subraya la importancia de otra evaluación detallada para comprender mejor las características y el origen de los materiales estudiados, por lo cual se determina llevar a cabo un segundo análisis de laboratorio empleando la técnica de absorción atómica, considerando los elementos con mayor porcentaje de presencia en la XRF, correspondientes a Azufre y Aluminio y los metales pesados sujetos a regulación normativa, correspondientes a Plomo y Cadmio, para hacer una evaluación más acertada de la calidad del aire y el riesgo asociado a la comunidad.

- **Espectroscopía por absorción atómica (EAA)**

La siguiente sección presenta los resultados obtenidos del análisis de laboratorio realizado en el Laboratorio Instrumental de Alta Complejidad de la Universidad de La Salle, utilizando la técnica de espectrometría de absorción atómica (EAA). Este análisis se aplicó a varias muestras para identificar y cuantificar la concentración de elementos metálicos presentes en el PM_{10} recolectado en el campus. Los resultados proporcionan datos clave sobre la presencia y niveles de diversos contaminantes, contribuyendo a una comprensión más profunda de la composición química del material particulado. La tabla muestra los resultados obtenidos.

Tabla 8 Resultados Espectrometría de absorción atómica

Código LIAC	Matriz	Método/ Referencia	Unidad	Resultado	Fecha análisis
15480	Material particulado	Aluminio ICP PLASMA EPA	$\frac{g}{m^3 * dia}$	0,94	24/07/10
15484		625/R 96/010 Compendio de		0,55	
15488		Método IO-3.4		13,05	

Tabla 8 Continuación

15485		Cadmio ICP PLASMA EPA		No detectado	
15489		625/R 96/010 Compendio de		No detectado	
15481		Método IO-3.4		No detectado	
15482		Plomo ICP PLASMA EPA		0,01	
15490		625/R 96/010 Compendio de		0,01	
15486		Método IO-3.4		0,01	
15483		Azufre ICP PLASMA EPA		3,90	
15487		625/R 96/010 Compendio de		2,71	
15491		Método IO-3.4		2,18	

Nota. Adaptado a partir de (LIAC, 2024)

Los resultados del análisis realizado en el Laboratorio Instrumental de Alta Complejidad (LIAC) para evaluar la calidad del aire mediante la espectrometría de emisión ICP PLASMA indican un cumplimiento adecuado de los estándares establecidos en la Resolución 2254 de 2017 para los elementos cadmio y plomo, y proporcionan datos relevantes sobre la presencia de aluminio y azufre en el material particulado.

En cuanto al aluminio, los resultados obtenidos muestran concentraciones de 1,610 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, 0,939 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ y 22,35 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ en las diferentes muestras. Sin embargo, la normativa no establece un rango específico para este elemento, lo que dificulta una evaluación directa de su impacto según los estándares regulatorios. A pesar de la falta de un límite normativo, la presencia de aluminio es relevante y su monitoreo continuo podría ser necesario para comprender mejor su origen y posibles efectos en la calidad del aire.

Respecto al cadmio, los resultados muestran que en todas las muestras analizadas, la concentración fue inferior al límite de detección del método ($<0,002 \mu\text{g}/\text{cm}^2$). Se establece un límite de 0,005 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para cadmio en material particulado PM_{10} , lo que indica que las concentraciones encontradas están muy por debajo de este umbral, cumpliendo con los estándares de calidad del aire.

Para el plomo, los resultados obtenidos fueron de 0,0170 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, 0,011 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ y 0,013 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, valores que se encuentran significativamente por debajo del límite normativo de 0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ establecido por la Resolución 2254 de 2017. Esto sugiere que las concentraciones de plomo en el

material particulado no representan un riesgo significativo, cumpliendo también con los requisitos de la normativa.

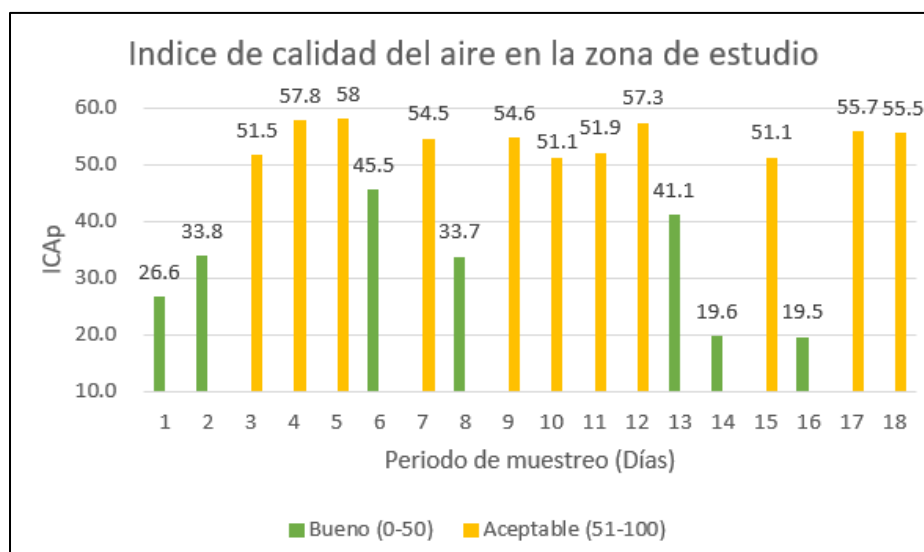
Finalmente, los análisis mostraron la presencia de azufre en las muestras, con concentraciones de $6,68 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, $4,640 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ y $3,73 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. La detección de azufre en estas concentraciones sugiere la posibilidad de emisiones que podrían impactar la calidad del aire, y subraya la importancia de un monitoreo continuo para evaluar las posibles fuentes y su control.

4.3. Evaluación de la calidad del aire y el riesgo asociado a la comunidad educativa en el Campus Aguas Claras

4.3.1 Análisis de riesgo

4.3.1.1. Índice de calidad del aire (ICA). Los resultados del cálculo del Índice de calidad del aire y su correspondiente valoración según la normativa colombiana (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017) se presentan en el **Anexo 9**. La **Figura 30** ilustra la variación de los estados del ICA.

Figura 30 Índice de calidad del aire en la zona de estudio durante el periodo de muestreo



Los resultados indican que la calidad del aire varía entre “Buena” y “Aceptable”. En el rango de calidad “Buena”, los valores de ICAp están entre 19.52 y 45.46. Esto sugiere que la calidad del

aire no presenta riesgos significativos para la salud de la comunidad educativa en general. Según la resolución 2254 de 2017, un aire clasificado como “Bueno” implica que la contaminación del aire presenta un riesgo muy bajo para la salud pública, y las personas pueden realizar actividades al aire libre con total normalidad, sin preocuparse por efectos adversos.

En el rango de calidad “Aceptable”, los valores de ICAp se encuentran entre 51.08 y 57.96. Aunque estos indican una calidad del aire generalmente segura, según la resolución, podría haber un riesgo moderado para la salud de ciertos grupos sensibles de la población. Estos incluyen niños, ancianos y personas con enfermedades respiratorias como el asma. Durante estos períodos, es posible que estos grupos sensibles experimenten síntomas leves como irritación ocular, tos, o dificultad para respirar, especialmente si realizan actividades físicas intensas al aire libre.

4.3.1.2. Establecer riesgos asociados al PM_{10} y las sustancias de interés halladas. Esta sección busca resaltar las afectaciones a la salud que puede generar la exposición a sustancias como el plomo, azufre, cadmio y aluminio debido a su presencia en el aire y a su alto nivel de toxicidad.

La presencia de plomo en el aire puede originarse de varias fuentes pero principalmente se vincula con la quema de combustibles fósiles por lo cual genera un riesgo significativo para la salud humana debido a su toxicidad puede causar daños neurológicos afectando el sistema nervioso, la exposición prolongada a esta sustancia puede generar especialmente en niños la afectación del desarrollo cognitivo y el comportamiento, además de problemas renales, enfermedades cardiovasculares, problemas hematológicos, impacto en el sistema inmunológico, trastornos reproductivos e hipertensión en adultos (Rodríguez Rey et al., 2016).

El azufre en el aire representa un riesgo significativo para la salud humana, la inhalación de esta sustancia puede causar irritación de las vías respiratorias generando complicaciones de salud las cuales son más notorias en personas que sufran previamente de asma y enfermedades pulmonares crónicas, además una exposición prolongada a esta sustancia puede generar inflamación y daño del tejido pulmonar aumentando así el riesgo de contraer infecciones respiratorias, en los últimos años se ha asociado el aumento de la tasa de hospitalización por enfermedades cardiovasculares debido a la exposición continua a sustancias tóxicas entre ellas el azufre (Oyarzún G, 2010).

La presencia de aluminio en el medio ambiente se debe principalmente a emisiones por parte de fuentes industriales y minería, la exposición prolongada al aluminio puede causar efectos adversos en la salud generando problemas respiratorios como tos, dificultad para respirar e irritación pulmonar, dicha exposición también puede causar enfermedades como la fibrosis pulmonar, además, existen posibles asociaciones entre la exposición prolongada al aluminio y trastornos neurológicos, como el Alzheimer, así como problemas renales, óseos y alteraciones del sistema inmunológico (Vittori & Nesse, 2014).

El cadmio en el aire es un contaminante extremadamente peligroso para la salud humana, con múltiples efectos perjudiciales, la inhalación de esta sustancia puede provocar graves problemas respiratorios, como irritación de las vías respiratorias, tos y dificultades para respirar lo cual puede generar enfermedades pulmonares graves como la enfermedad pulmonar obstructiva crónica, además una exposición prolongada puede causar daño renal crónico, generar fragilidad ósea, incluso aumentar el riesgo de contraer cáncer de pulmón, riñón y próstata, debido a la alta toxicidad que presenta esta sustancia también se ha asociado con problemas cardiovasculares, como hipertensión y aterosclerosis. La presencia de cadmio en el aire se debe principalmente a las emisiones industriales y la quema de combustibles fósiles (Campo Tatis & Simanca Martínez, 2019).

El análisis de riesgo asociado a la presencia de sustancias contaminantes en el aire, específicamente plomo, azufre, cadmio y aluminio, reveló la potencial toxicidad y los efectos adversos para la salud. La exposición prolongada a estos contaminantes puede causar problemas neurológicos, respiratorios, renales y cardiovasculares, por lo que aunque la calidad del aire en el campus no presente un riesgo inmediato grave según los estándares permisivos, la superación del umbral de la OMS en varios días y la presencia de elementos tóxicos subrayan la necesidad de acciones correctivas.

Una vez determinada la calidad del aire respecto a la presencia de sustancias de interés en el PM_{10} en el campus Aguas claras se establecen algunas recomendaciones que la Dirección de Gestión Ambiental de la universidad puede tomar en cuenta y aplicar con el fin de contribuir a la mejora de la calidad del aire y el bienestar de la comunidad educativa, promoviendo un entorno más saludable y sostenible para todos. Algunas de estas incluyen: Establecer y aplicar estrictamente políticas de control de emisiones dentro del campus, especialmente en áreas cercanas a fuentes potenciales de contaminación como el tráfico vehicular.

Mantener un sistema de monitoreo continuo de la calidad del aire que incluya la medición regular de PM_{10} y otras sustancias contaminantes. Esto permitirá una evaluación precisa de los niveles de contaminación y la implementación oportuna de medidas correctivas.

Desarrollar programas educativos y campañas de sensibilización dirigidas a la comunidad universitaria sobre los riesgos para la salud asociados con la contaminación del aire y las prácticas individuales que pueden contribuir a mejorar la calidad del aire y promover el cuidado de las áreas verdes dentro del campus (Humedal El charco Oasis) y la adopción de tecnologías limpias. Estas medidas ayudarán a reducir las emisiones de contaminantes y mejorarán la calidad general del entorno ambiental (Galván Rico & Reyes Gil, 2009).

Establecer colaboraciones y alianzas estratégicas con autoridades ambientales locales y comunidades vecinas para abordar de manera conjunta los problemas de calidad del aire, compartiendo datos, recursos y estrategias para mejorar la calidad del aire a nivel regional.

5. Referencias

- Agraz Rentería, M. J. (2021). El Espectrofotómetro de Absorción Atómica, un aliado del medio ambiente. *+Ciencia*, 27(22–23).
<https://pruebapub.anahuac.mx/index.php/masciencia/article/view/935>
- Aguilera López, A. K. (2018). Industrias petroleras a nivel mundial, limitaciones y alcances en el siglo XXI. *Ecosociales*, 16. <https://revistas.ujat.mx/index.php/ecosoc/article/view/2733/2165>
- Andara, R. (2020). Usabilidad, impactos ambientales y costos de los vehículos de combustión interna y eléctricos. *TRIM*, 17(111–125).
<https://revistas.uva.es/index.php/trim/article/view/4203>
- Área metropolitana del Valle de Aburrá. (2007). *Procedimiento para la determinación de la concentración de partículas suspendidas menores a 10 micras en el aire ambiente por el método PM10*. <https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Biblioteca-aire/procedimientos-de-monitoreo/procedimiento-determinacion-concentracion-pm10.pdf>
- Armijos, A. (2020). *Simulación del contaminante por combustible de aviación AV-GAS en el terminal de almacenamiento del aeropuerto de Guayaquil* [Universidad Agraria del Ecuador].
<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ARMIJOS%20ENCALADA%20ANTONY%20PATRICIO.pdf>
- Campo Tatis, N. P., & Simanca Martínez, K. J. (2019). *Evaluación de las concentraciones de Cadmio, Plomo, Zinc y Cromo en especies ícticas del departamento de la Guajira, Colombia y riesgo de exposición en humanos* [Corporación Universidad De La Costa].
<https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/5159/EVALUACI%C3%93N%20DE%20LAS%20CONCENTRACIONES%20DE%20CADMIO,%20PLOMO,%20ZINC%20Y%20CROMO%20EN%20ESPECIES%20%C3%8DCTICAS%20DEL%20DEPARTAMENTO%20DE%20LA%20GUAJIRA-COLOMBIA%20Y%20RIESGO%20DE%20EXPOSICI%C3%93N%20EN%20HUMANOS.pdf?sequence=1>
- Clavijo Mayorga, D. G., & Padilla Erazo, W. L. (2014). *Minimización de pérdidas en los tanques de almacenamiento de naftas en Refinería Esmeraldas* [Escuela Politécnica Nacional].
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/7465/1/CD-5602.pdf>

- Departamento Nacional De Planeación (DANE). (2018). Política para el mejoramiento de la calidad del aire. In *CONPES 3943*. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/conpes-3943-de-2018.pdf>
- Consejo Superior de la Universidad Santo Tomás. (2020). *Acuerdo No. 10. Políticas y lineamientos del sistema institucional de aseguramiento de la calidad a nivel multicampus*. [acuerdo-no.-14-del-17-de-mayo-de-2022-actualizacin-del-acuerdo-10-de-2020-2.pdf](https://www.usta.edu.co/acuerdo-no.-14-del-17-de-mayo-de-2022-actualizacin-del-acuerdo-10-de-2020-2.pdf) (usta.edu.co)
- Contreras, S., Navarro, M., & Omaira, R. (2020). *Análisis vial de vehículos de carga en el corredor de la calle 13 en Bogotá D.C. en el periodo 2018 - 2020* [Universidad Jorge Tadeo Lozano]. <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/10841/Trabajo%20de%20grado.pdf?sequence=1>
- Eurofins Environment. (2023, January 5). *Qué son las partículas PM10 y cómo se generan en la atmósfera*. <https://www.eurofins-environment.es/es/particulas-pm10-y-como-se-generan/#:~:text=De%20manera%20general%20podr%C3%ADamos%20decir%20que%20los%20componentes,5%20Carb%C3%B3n%20elemental.%206%20Componentes%20minerales.%207%20Agua>
- Galván Rico, L. E., & Reyes Gil, R. E. (2009). Algunas herramientas para la prevención, control y mitigación de la Contaminación ambiental. *Scielo*, 13(2542–3401). https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212009000400003
- Giraldo Arcila, D., & Bermúdez Rubio, D. (2022). *Estudio de la concentración del material particulado inferior a 2.5 micrómetros en Bogotá usando modelos dinámicos* [Universidad Santo Tomás]. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/43885/Giraldo%20Daniela%202022-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- González Rojas, A. L., & Arciniegas Triana, D. (2019). *Caracterización de las emisiones provenientes de los 1 vehículos de carga pesada en un parqueadero ubicado en la avenida calle 17 de la localidad de Fontibón en Bogotá D.C.* [Universidad De La Salle]. https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2101&&context=ing_ambiental_sanitaria&&sei-redir=1&referer=https%253A%252F%252Fscholar.google.es%252Fscholar%253Fhl%253Des%2526as_sdt%253D0%25252C5%2526q%253Dcontaminaci%2525C3%2525B3n%25

2Bpor%252Bveh%2525C3%2525ADculos%252Bde%252Bcarga%252Bpesada%252B%2526btnG%253D#search=%22contaminaci%C3%B3n%20por%20veh%C3%ADculos%20de%20carga%20pesada%22

Herrera Murillo, J., Rodríguez Román, S., & Rojas, J. F. (2011). Determinación de las emisiones de contaminantes del aire generadas por fuentes móviles en carreteras de Costa Rica. *Tecnología En Marcha*, 25. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/176/174

Hidalgo Aguilera, L. (2010). La basura electrónica y la contaminación ambiental. *Enfoque*, 1(1390–6542). <https://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/view/16/15>

Malvern Panalytical. (2024). *Fluorescencia de rayos X de dispersión por longitud de onda (WDXRF)*. <https://www.malvernpanalytical.com/es/products/technology/xray-analysis/x-ray-fluorescence/wavelength-dispersive-x-ray-flourescence>

Mamani Huanca, J. D. (2022). *Revisión Ambiental sobre la Demanda, Impacto y Suministro de Metales Hacia el Siglo XXII* [Universidad César Vallejo]. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/20328/Mamani_HJD-SD.pdf?sequence=4

Marín, G. (2019). *Determinación de la concentración de Cr, Cd y Pb contenidos en material particulado (PM10) en los colegios San José y Confraternidad de San Fernando y su relación con las fuentes de emisión presentes en cada zona* [Universidad De La Salle]. https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2146&context=ing_ambiental_sanitaria
https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2146&context=ing_ambiental_sanitaria

Martínez Guijarro, M. R. (2020). *Análisis instrumental: Espectrometría de Absorción Atómica (EAA)*. [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/138418/Mart%C3%adnez%20-%20An%C3%a1lisis%20Instrumental.%20Espectrometr%C3%ada%20de%20Absorci%C3%b3n%20At%C3%b3mica%20\(EAA\).pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/138418/Mart%C3%adnez%20-%20An%C3%a1lisis%20Instrumental.%20Espectrometr%C3%ada%20de%20Absorci%C3%b3n%20At%C3%b3mica%20(EAA).pdf?sequence=1)

Mijay, S., Molina, L. T., & Molina, M. J. (2004). *Cálculo de emisiones de emisiones de contaminación de emisiones de contaminación atmosférica por uso de combustibles fósiles en el sector eléctrico mexicano*. <http://www.cec.org/files/documents/publications/2166-estimating-air-pollution-emissions-from-fossil-fuel-use-in-electricity-sector-in-es.pdf>

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2010). *Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire*. <https://www.minambiente.gov.co/documento-entidad/manual-de-operacion-de-sistemas-de-vigilancia-de-la-calidad-del-aire/>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible. (2008). *Resolución 910. Niveles permisibles de emisión de contaminantes de fuentes móviles*. <https://www.minambiente.gov.co/documento-entidad/resolucion-910-de-2008/>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Resolución 2254. Norma de calidad del aire o nivel de inmisión*. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Resolucion-2254-de-2017.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2024). *La contaminación atmosférica en Colombia*. <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/contaminacion-atmosferica/>
- Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA). (2021, December 15). *Power Docs*. <https://power.larc.nasa.gov/>
- Noreña Ocampo, L. C. (2021). *Estudio de calidad del aire en un punto crítico de la ciudad de Pereira, tomando como referencia la variable material particulado PM10* [Universidad Tecnológica de Pereira]. <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/365fa33e-e590-4bdd-ae91-1ed338bc6030/content>
- Organización Panamericana de la Salud. (2024). *Calidad del aire*. <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>
- Oyarzún G, M. (2010). Contaminación aérea y sus efectos en la salud. *Revista Chilena de Enfermedades Respiratorias*, 16–25. <https://revchilenfermrespir.cl/pdf/S0717-73482010000100004.pdf>
- Pacheco, P. R., Parodi, M. C., Mera, E. M., & Salini, G. A. (2020). Variables meteorológicas y niveles de concentración de material particulado de 10 µm en Andacollo, Chile: un estudio de dispersión y entropías. *Información Tecnológica*, Vol. 31(6)(171–182). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642020000600171>
- Pazmiño, I. (2022). Impacto ambiental de los talleres de maquinaria pesada industrial en el Cantón Esmeraldas. *Revista Del Grupo de Investigación En Comunidad y Salud*, 7. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8721746>

- Peña Becerra, C. E., & Afanador Gutiérrez, J. F. (2019). *Calidad del aire en el sur occidente de Villavicencio: influencia del material particulado generado por el molino de arroz roa Flor Huila* [Universidad Santo Tomás]. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/19430/2019joseafanador?sequence=6&isAllowed=y>
- Pérez Fadul, L. F., & Hernández H, L. (2006). *Determinación de metales pesados en partículas respirables e identificación de fuentes de emisión, a partir de un muestreo atmosférico en la localidad de Puente Aranda en la ciudad de Bogotá* [Universidad De La Salle]. https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1672&context=ing_ambiental_sanitaria
- Fundación Gas Natural Fenosa. (2018). *La calidad del aire en las ciudades: Un reto mundial* (1st ed.). <https://www.fundacionnaturgy.org/wp-content/uploads/2018/06/calidad-del-aire-reto-mundial.pdf>
- Ramírez, E. (2023). *Implementación de un control de emisiones para garantizar el cumplimiento de normas de calidad de aire en la industria petroquímica del sur de Tamaulipas* [Instituto tecnológico de ciudad Madero]. http://51.143.95.221/bitstream/TecNM/7052/1/G15071362_donacion_tesis_bib.pdf
- Rodríguez Rey, A., Cuellar Luna, L., Maldonado Cantillo, G., & Suardiaz Espinoza, M. (2016). Efectos nocivos del plomo para la salud del hombre. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas.*, 3. <https://www.medigraphic.com/pdfs/revcubinvbio/cib-2016/cib163f.pdf>
- Tisch Environmental. (2024a). *Calibration Worksheets*. <https://tisch-env.com/calibration-worksheets/>
- Tisch Environmental. (2024b). *TE-6070V (VFC) PM10 - Ambient Air Sampler*. <https://tisch-env.com/high-volume-air-sampler/pm10>
- Trujillo, J., Caballero, J., & Ramón, J. (2019). Determinación de las concentraciones de metales pesados presentes en el material particulado pm10 del municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander. *Revista Ambiental - Agua, Suelo y Aire*, 1. https://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RA/article/view/3957/2422
- United Nations Development Programme. (2015). *Los ODS en acción*. <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>

- Venegas, L. E., & Mazzeo, N. A. (2012). La velocidad del viento y la dispersión de contaminantes en la atmósfera. *Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas*.
https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/100066/Documento_completo.Venegas.CLIV2.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Vittori, D., & Nesse, A. (2014). Actualización de la interacción metal-organismo humano en la era del aluminio. *Revista Química Viva*, 2(1666–7948).
<https://www.redalyc.org/pdf/863/86331633004.pdf>

6. Anexos

Anexo 1 Datos históricos de velocidad y dirección del viento en el punto de muestreo durante el periodo establecido.

PUNTO 1 (UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS)		
Fecha	Dirección Viento a 10 m	Velocidad Viento a 10 m
23/02/2024	81.31	1.75
24/02/2024	76.25	1.64
25/02/2024	74.25	1.99
26/02/2024	90.81	2.07
27/02/2024	118.31	1.94
28/02/2024	89.19	2.05
29/02/2024	89.12	2.49
1/03/2024	86.31	2.29
2/03/2024	96.62	2.08
3/03/2024	94	1.68
4/03/2024	80.94	1.8
5/03/2024	85.31	2.23
6/03/2024	107.75	2.34
7/03/2024	111.62	2.78
8/03/2024	106.44	2.88
9/03/2024	114.44	2.9
10/03/2024	117.88	2.94
11/03/2024	112.12	3.56
PROMEDIO		2.3

Anexo 2 Datos históricos de precipitación, temperatura y radiación solar en los diferentes puntos de interpolación, durante el periodo de muestreo

PUNTO 1 (UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS)					
Fecha	Precipitación (mm/día)	T min (°C)	T máx. (°C)	T promedio (°C)	Radiación diaria $\left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}\right)$
23/02/2024	8.11	16	16.2	16.03	5.24
24/02/2024	8.02	15.7	16.1	15.69	6.32
25/02/2024	2.35	15.9	16.1	16.06	6.21
26/02/2024	12.61	15.52	16.4	15.98	4.69
27/02/2024	61.83	16	16	16	3.95
28/02/2024	13.99	16.1	16.3	16.33	3.51
29/02/2024	9.65	16.1	16.9	16.1	5.31
1/03/2024	4.18	15.6	16.2	15.25	6.37
2/03/2024	13.86	16	16.8	16.64	3.81
3/03/2024	22.48	15.9	16.15	16.37	4.17
4/03/2024	6.94	15.78	16.09	16.48	4.38
5/03/2024	9.23	16.08	16.3	16.82	2.07
6/03/2024	11.09	16.95	17.2	17.27	6.19
7/03/2024	17.26	17	17.6	17.47	3.28
8/03/2024	13.63	16.1	16.8	16.87	3.49
9/03/2024	35.9	17	17.45	17.48	1.35
10/03/2024	20.42	17.5	17.89	17.37	4.57
11/03/2024	15.76	18.15	24.05	17.32	1.89
PROMEDIO	16	16.298	17.029	16.5	4.3
PUNTO 2					
Fecha	Precipitación (mm/día)	T min (°C)	T máx. (°C)	T Promedio (°C)	Radiación diaria $\left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}\right)$
23/02/2024	1.44	22.77	31.67	27.22	5.24
24/02/2024	0	21.57	33.15	27.36	6.32
25/02/2024	0.09	22.37	32.39	27.38	6.21
26/02/2024	0.51	22.55	31.05	26.8	4.69

27/02/2024	5.77	22.7	30.69	26.695	3.95
28/02/2024	6.26	22.56	31.83	27.195	3.51
29/02/2024	0.63	22.6	31.9	27.25	5.31
1/03/2024	0.28	21.8	31.56	26.68	6.37
2/03/2024	1.82	22.81	32.4	27.605	3.81
3/03/2024	2	22.84	31.72	27.28	4.17
4/03/2024	1.02	22.39	33.23	27.81	4.38
5/03/2024	0.4	23.23	33.55	28.39	2.07
6/03/2024	3.18	23.56	32.78	28.17	6.19
7/03/2024	6.63	24.17	31.43	27.8	3.28
8/03/2024	4.26	24.01	32.26	28.135	3.49
9/03/2024	14.84	24.07	29.09	26.58	1.35
10/03/2024	7.05	23.94	30.11	27.025	4.57
11/03/2024	6.9	23.9	31.52	27.71	1.9
PROMEDIO	3.5	23.0	31.8	27.4	4.3

PUNTO 3

Fecha	Precipitación (mm/día)	T min (°C)	T máx. (°C)	T Promedio (°C)	Radiación diaria $\left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}\right)$
23/02/2024	1.44	22.77	31.67	27.22	5.02
24/02/2024	0	21.57	33.15	27.36	6.42
25/02/2024	0.09	22.37	32.39	27.38	5.19
26/02/2024	0.51	22.55	31.05	26.8	5.45
27/02/2024	5.77	22.7	30.69	26.695	4.11
28/02/2024	6.26	22.56	31.83	27.195	4.53
29/02/2024	0.63	22.6	31.9	27.25	5.42
1/03/2024	0.28	21.8	31.56	26.68	5.67
2/03/2024	1.82	22.81	32.4	27.605	4.85
3/03/2024	2	22.84	31.72	27.28	4.34
4/03/2024	1.02	22.39	33.23	27.81	5.18
5/03/2024	0.4	23.23	33.55	28.39	4.08

6/03/2024	3.18	23.56	32.78	28.17	5.92
7/03/2024	6.63	24.17	31.43	27.8	3.42
8/03/2024	4.26	24.01	32.26	28.135	5.31
9/03/2024	14.84	24.07	29.09	26.58	1.73
10/03/2024	7.05	23.94	30.11	27.025	6.27
11/03/2024	6.9	23.9	31.52	27.71	5.13
PROMEDIO	3.5	23.0	31.8	27.4	4.9

PUNTO 4					
Fecha	Precipitación (mm/día)	T min (°C)	T máx. (°C)	T Promedio (°C)	Radiación diaria $\left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}\right)$
23/02/2024	4.68	16.6	24.14	20.37	5.24
24/02/2024	3.22	15.66	25.02	20.34	6.32
25/02/2024	2.72	16.52	25.2	20.86	6.21
26/02/2024	8.64	15.92	24.3	20.11	4.69
27/02/2024	45.35	17.26	23.25	20.255	3.95
28/02/2024	20.21	16.75	24.59	20.67	3.51
29/02/2024	8.59	16.82	24.01	20.415	5.31
1/03/2024	2.92	14.99	23.31	19.15	6.37
2/03/2024	17.15	16.28	25.15	20.715	3.81
3/03/2024	22.16	17.12	24.31	20.715	4.17
4/03/2024	7.64	16.73	24.86	20.795	4.38
5/03/2024	11.6	17.33	25.55	21.44	2.07
6/03/2024	9.67	17.72	25.59	21.655	6.19
7/03/2024	16.05	17.51	25.27	21.39	3.28
8/03/2024	16.84	18.73	24.33	21.53	3.49
9/03/2024	26.28	17.79	24.47	21.13	1.35
10/03/2024	15.39	18.19	24.05	21.12	4.57
11/03/2024	14.33	17.9	24.71	21.305	1.89
PROMEDIO	14.1	17.0	24.6	20.8	4.3

PUNTO 5					
---------	--	--	--	--	--

Fecha	Precipitación (mm/día)	T min (°C)	T máx. (°C)	T Promedio (°C)	Radiación diaria $\left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}\right)$
23/02/2024	4.68	16.6	24.14	20.62632716	5.24
24/02/2024	3.22	15.66	25.02	20.63910494	6.32
25/02/2024	2.72	16.52	25.2	20.65299383	6.21
26/02/2024	8.64	15.92	24.3	20.65058642	4.69
27/02/2024	45.35	17.26	23.25	20.69984568	3.95
28/02/2024	20.21	16.75	24.59	20.75169753	3.51
29/02/2024	8.59	16.82	24.01	20.7783642	5.31
1/03/2024	2.92	14.99	23.31	20.81966049	6.37
2/03/2024	17.15	16.28	25.15	20.89299383	3.81
3/03/2024	22.16	17.12	24.31	20.90799383	4.17
4/03/2024	7.64	16.73	24.86	20.92984568	4.38
5/03/2024	11.6	17.33	25.55	20.9291358	2.07
6/03/2024	9.67	17.72	25.59	20.90948718	6.19
7/03/2024	16.05	17.51	25.27	20.8600641	3.28
8/03/2024	16.84	18.73	24.33	20.81967949	3.49
9/03/2024	26.28	17.79	24.47	20.79391026	1.35
10/03/2024	15.39	18.19	24.05	20.75467949	4.57
11/03/2024	14.33	17.9	24.71	20.72141026	1.89
PROMEDIO	14.1	17.0	24.6	20.8	4.3

PUNTO 6

Fecha	Precipitación (mm/día)	T min (°C)	T máx. (°C)	T Promedio (°C)	Radiación diaria $\left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}\right)$
23/02/2024	4.68	16.6	24.14	20.37	5.24
24/02/2024	3.22	15.66	25.02	20.34	6.32
25/02/2024	2.72	16.52	25.2	20.86	6.21
26/02/2024	8.64	15.92	24.3	20.11	4.69
27/02/2024	45.35	17.26	23.25	20.255	3.95

28/02/2024	20.21	16.75	24.59	20.67	3.51
29/02/2024	8.59	16.82	24.01	20.415	5.31
1/03/2024	2.92	14.99	23.31	19.15	6.37
2/03/2024	17.15	16.28	25.15	20.715	3.81
3/03/2024	22.16	17.12	24.31	20.715	4.17
4/03/2024	7.64	16.73	24.86	20.795	4.38
5/03/2024	11.6	17.33	25.55	21.44	2.07
6/03/2024	9.67	17.72	25.59	21.655	6.19
7/03/2024	16.05	17.51	25.27	21.39	3.28
8/03/2024	16.84	18.73	24.33	21.53	3.49
9/03/2024	26.28	17.79	24.47	21.13	1.35
10/03/2024	15.39	18.19	24.05	21.12	4.57
11/03/2024	14.33	17.9	24.71	21.305	1.89
PROMEDIO	14.1	17.0	24.6	20.8	4.3

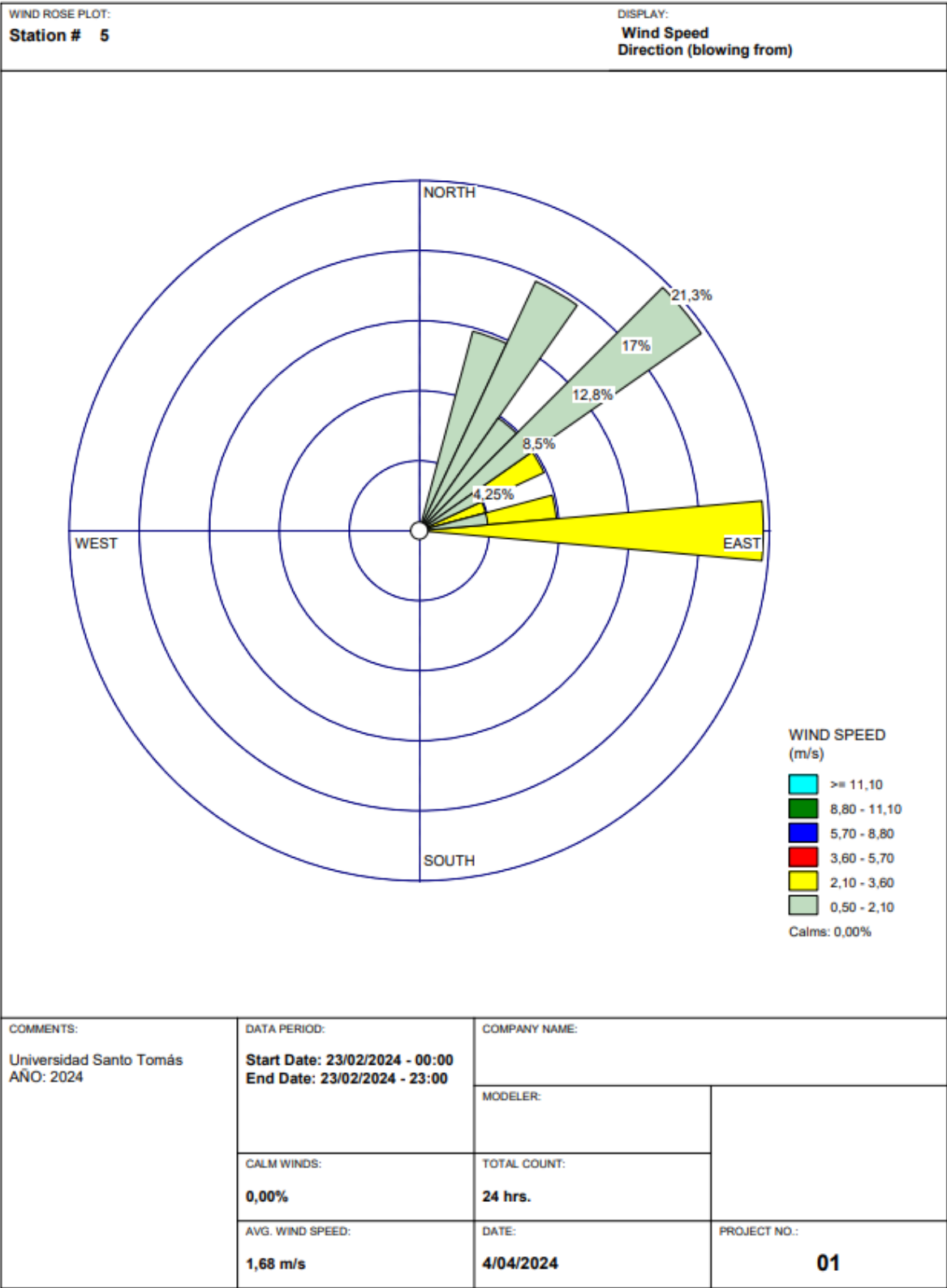
PUNTO 7					
Fecha	Precipitación (mm/día)	T min (°C)	T máx. (°C)	T Promedio (°C)	Radiación diaria $\left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}\right)$
23/02/2024	4.68	16.6	24.14	20.37	5.24
24/02/2024	3.22	15.66	25.02	20.34	6.32
25/02/2024	2.72	16.52	25.2	20.86	6.21
26/02/2024	8.64	15.92	24.3	20.11	4.69
27/02/2024	45.35	17.26	23.25	20.255	3.95
28/02/2024	20.21	16.75	24.59	20.67	3.51
29/02/2024	8.59	16.82	24.01	20.415	5.31
1/03/2024	2.92	14.99	23.31	19.15	6.37
2/03/2024	17.15	16.28	25.15	20.715	3.81
3/03/2024	22.16	17.12	24.31	20.715	4.17
4/03/2024	7.64	16.73	24.86	20.795	4.38
5/03/2024	11.6	17.33	25.55	21.44	2.07
6/03/2024	9.67	17.72	25.59	21.655	6.19

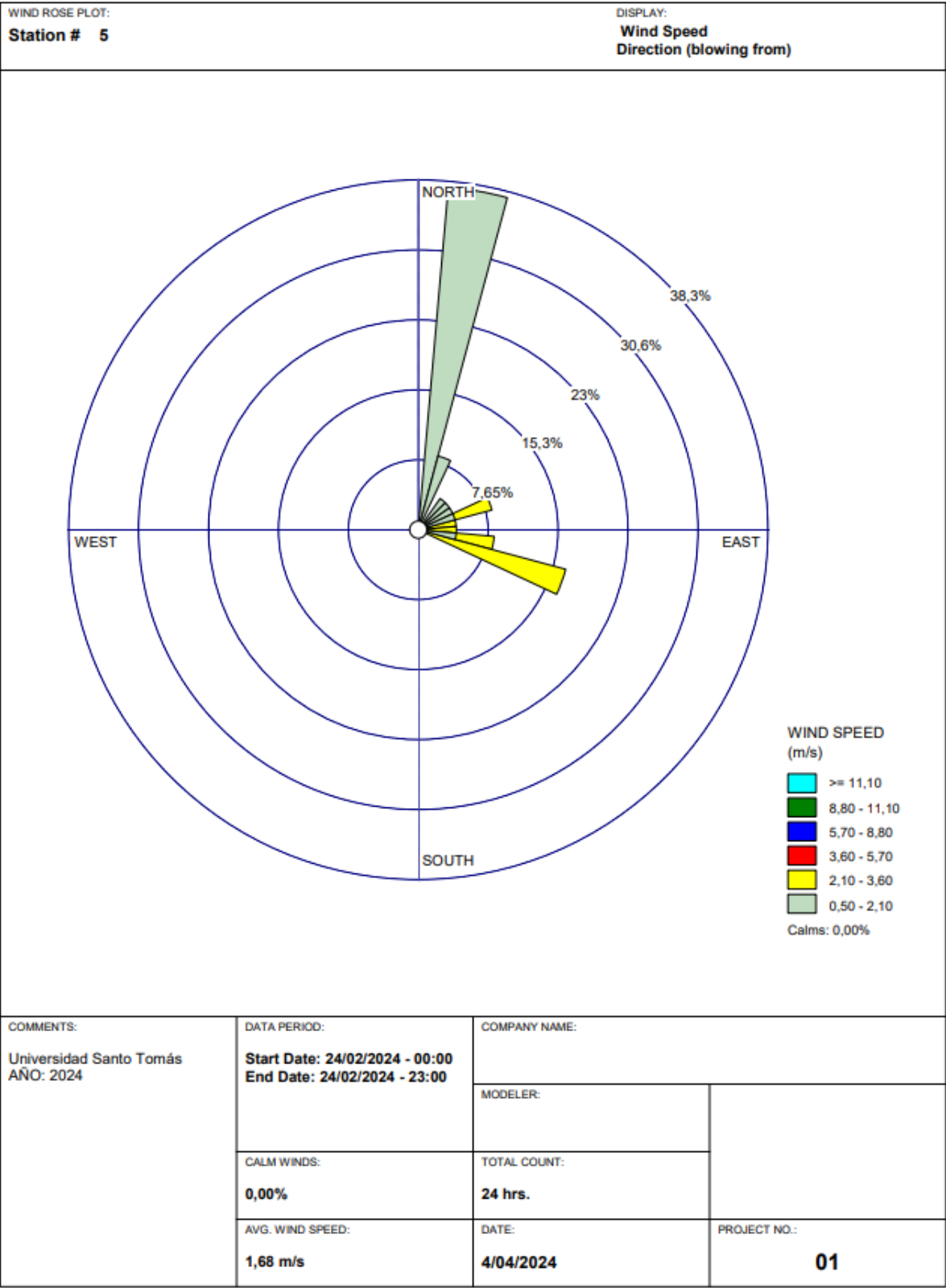
7/03/2024	16.05	17.51	25.27	21.39	3.28
8/03/2024	16.84	18.73	24.33	21.53	3.49
9/03/2024	26.28	17.79	24.47	21.13	1.35
10/03/2024	15.39	18.19	24.05	21.12	4.57
11/03/2024	14.33	17.9	24.71	21.305	1.89
PROMEDIO	14.1	17.0	24.6	20.8	4.3

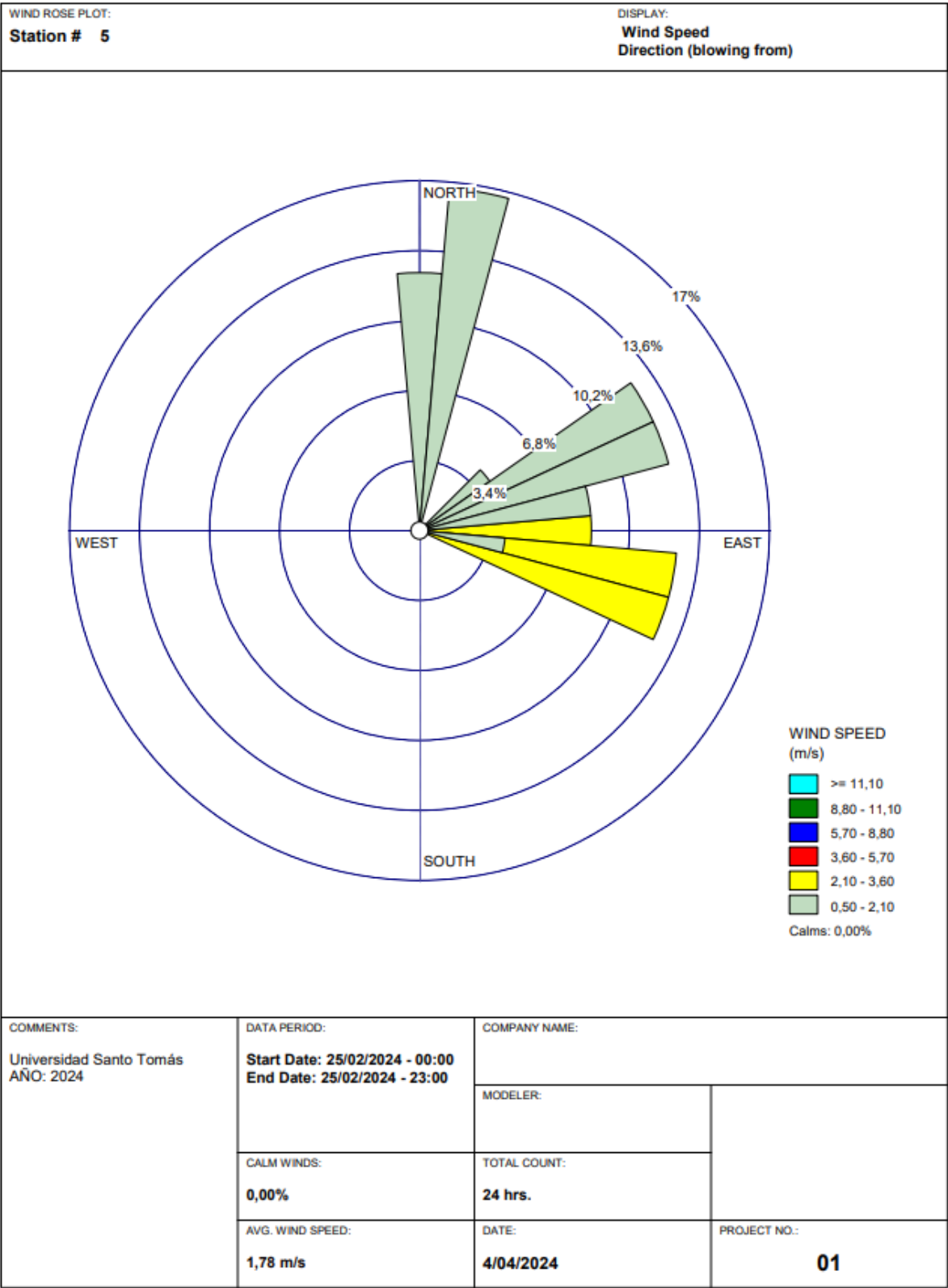
PUNTO 8					
Fecha	Precipitación (mm/día)	T min (°C)	T máx. (°C)	T Promedio (°C)	Radiación diaria $\left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}\right)$
23/02/2024	1.44	22.77	31.67	27.22	5.24
24/02/2024	0	21.57	33.15	27.36	6.32
25/02/2024	0.09	22.37	32.39	27.38	6.21
26/02/2024	0.51	22.55	31.05	26.8	4.69
27/02/2024	5.77	22.7	30.69	26.695	3.95
28/02/2024	6.26	22.56	31.83	27.195	3.51
29/02/2024	0.63	22.6	31.9	27.25	5.31
1/03/2024	0.28	21.8	31.56	26.68	6.37
2/03/2024	1.82	22.81	32.4	27.605	3.81
3/03/2024	2	22.84	31.72	27.28	4.17
4/03/2024	1.02	22.39	33.23	27.81	4.38
5/03/2024	0.4	23.23	33.55	28.39	2.07
6/03/2024	3.18	23.56	32.78	28.17	6.19
7/03/2024	6.63	24.17	31.43	27.8	3.28
8/03/2024	4.26	24.01	32.26	28.135	3.49
9/03/2024	14.84	24.07	29.09	26.58	1.35
10/03/2024	7.05	23.94	30.11	27.025	4.57
11/03/2024	6.9	23.9	31.52	27.71	1.89
PROMEDIO	3.5	23.0	31.8	27.4	4.3

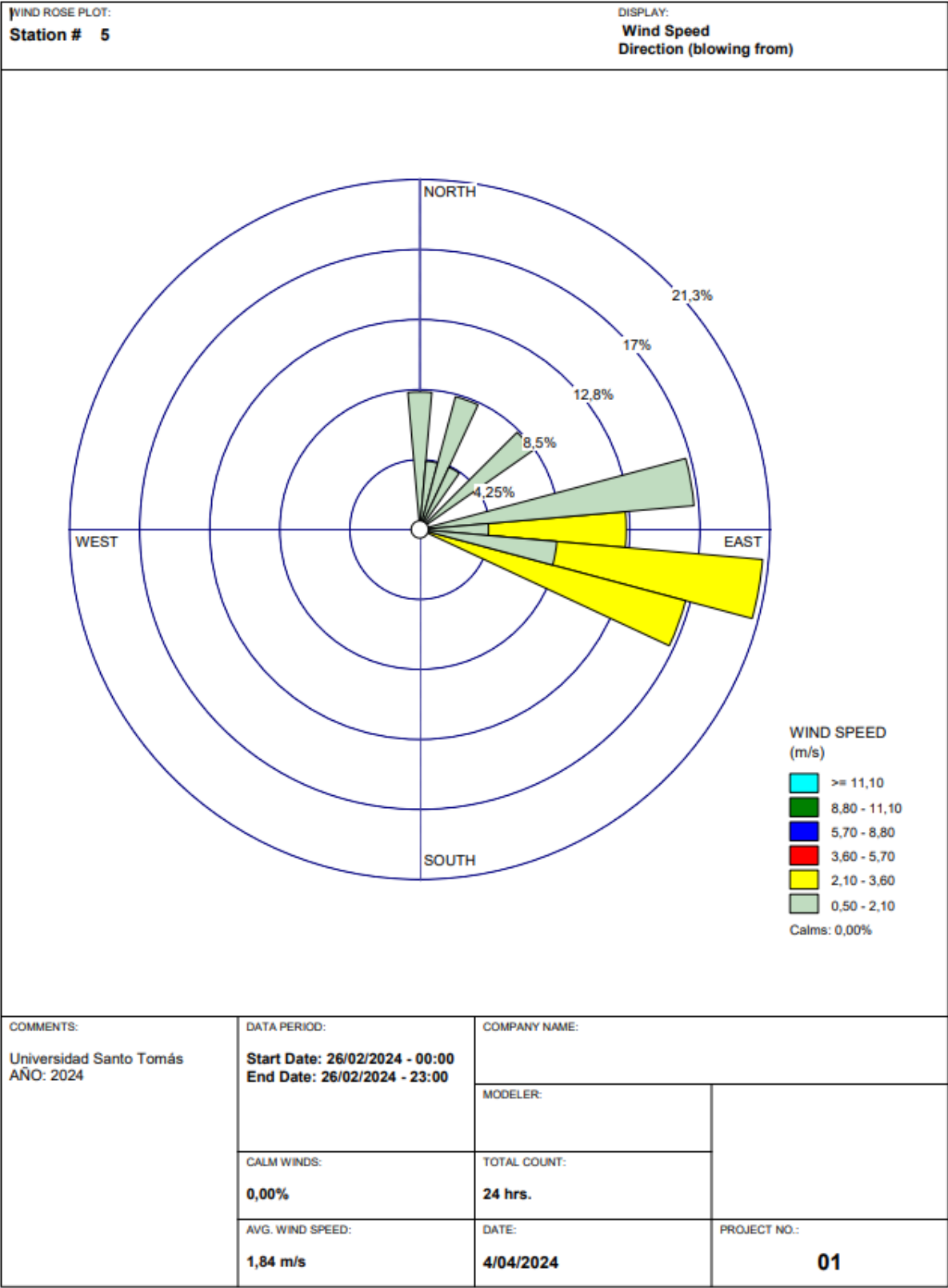
Anexo 3 Promedios variables meteorológicas por punto

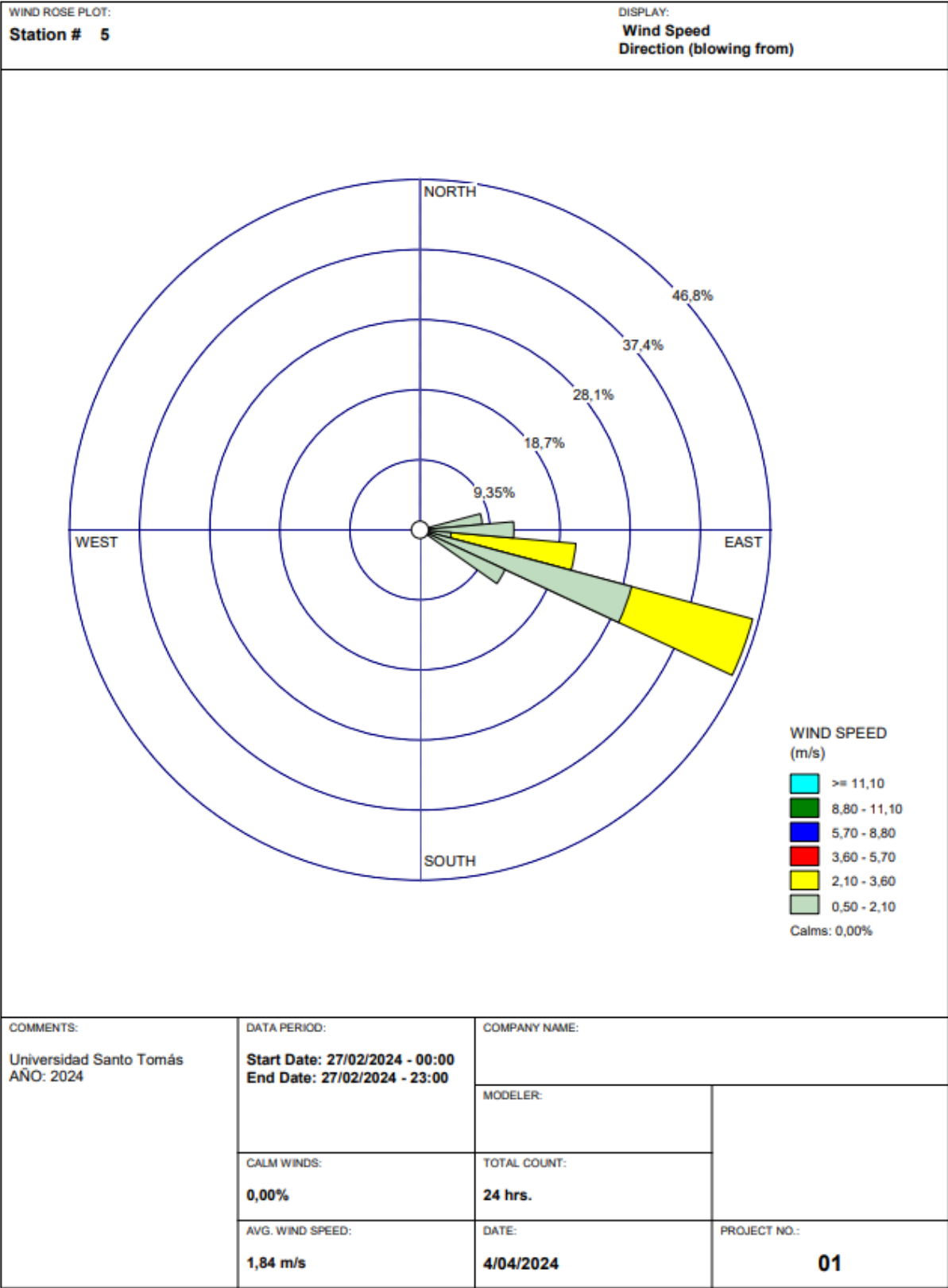
Promedios					
Punto	Longitud	Latitud	Temperatura (°C)	Precipitación (mm/día)	Radiación $\left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}\right)$
1	-73.801646	4.319783	16.70	15.74	4.33
2	-73.125009	4.209733	27.62	4.37	4.33
3	-73.138443	3.861584	27.62	4.37	4.85
4	-73.813104	4.006208	20.98	13.76	4.33
5	-73.614539	4.121901	21.28	13.76	4.33
6	-73.63587	4.146054	20.98	13.76	4.33
7	-73.624692	4.163418	20.98	13.76	4.33
8	-73.353395	4.061682	27.62	4.37	4.33
Promedio de la zona de estudio			22.97	10.49	4.40

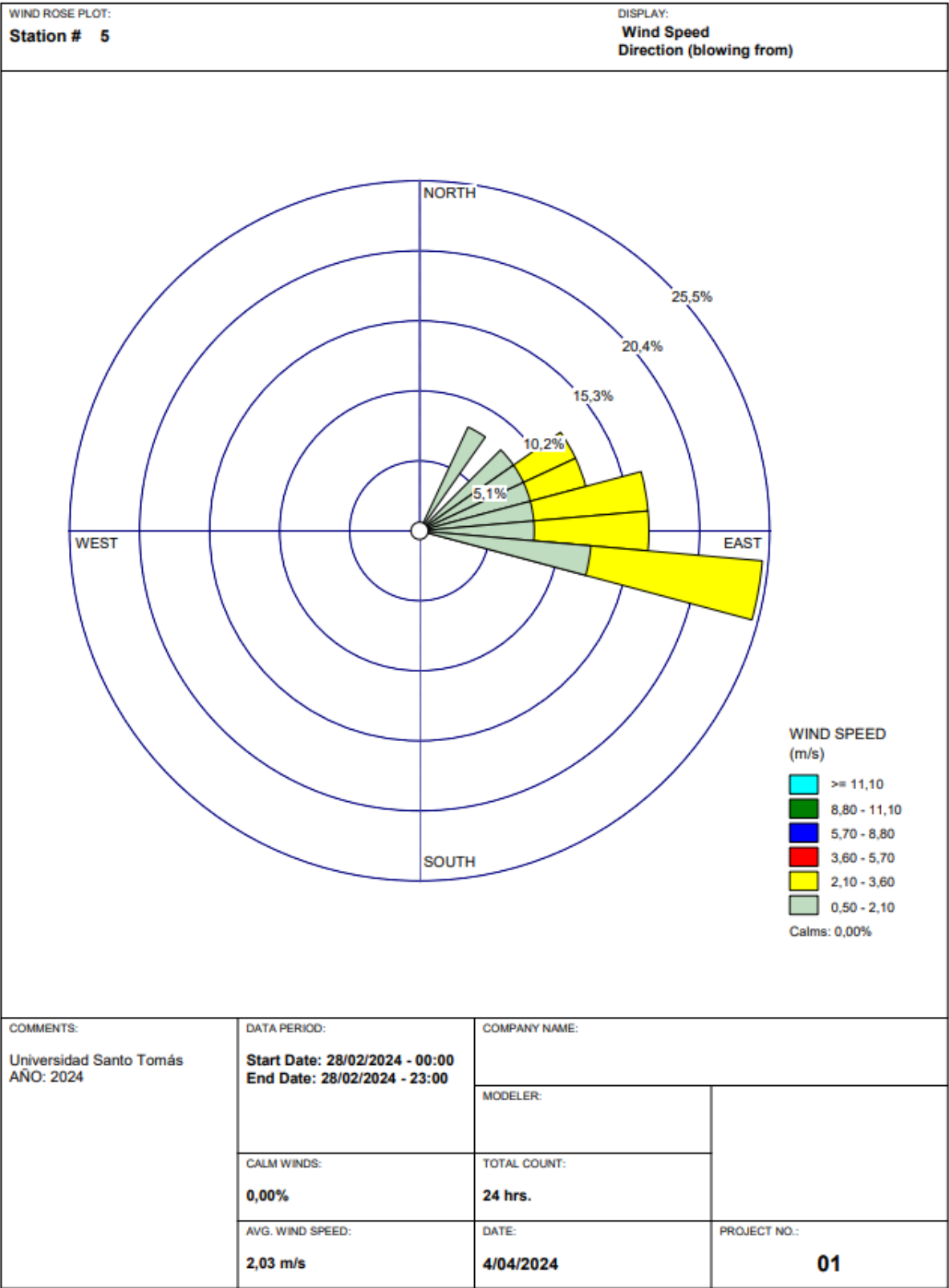


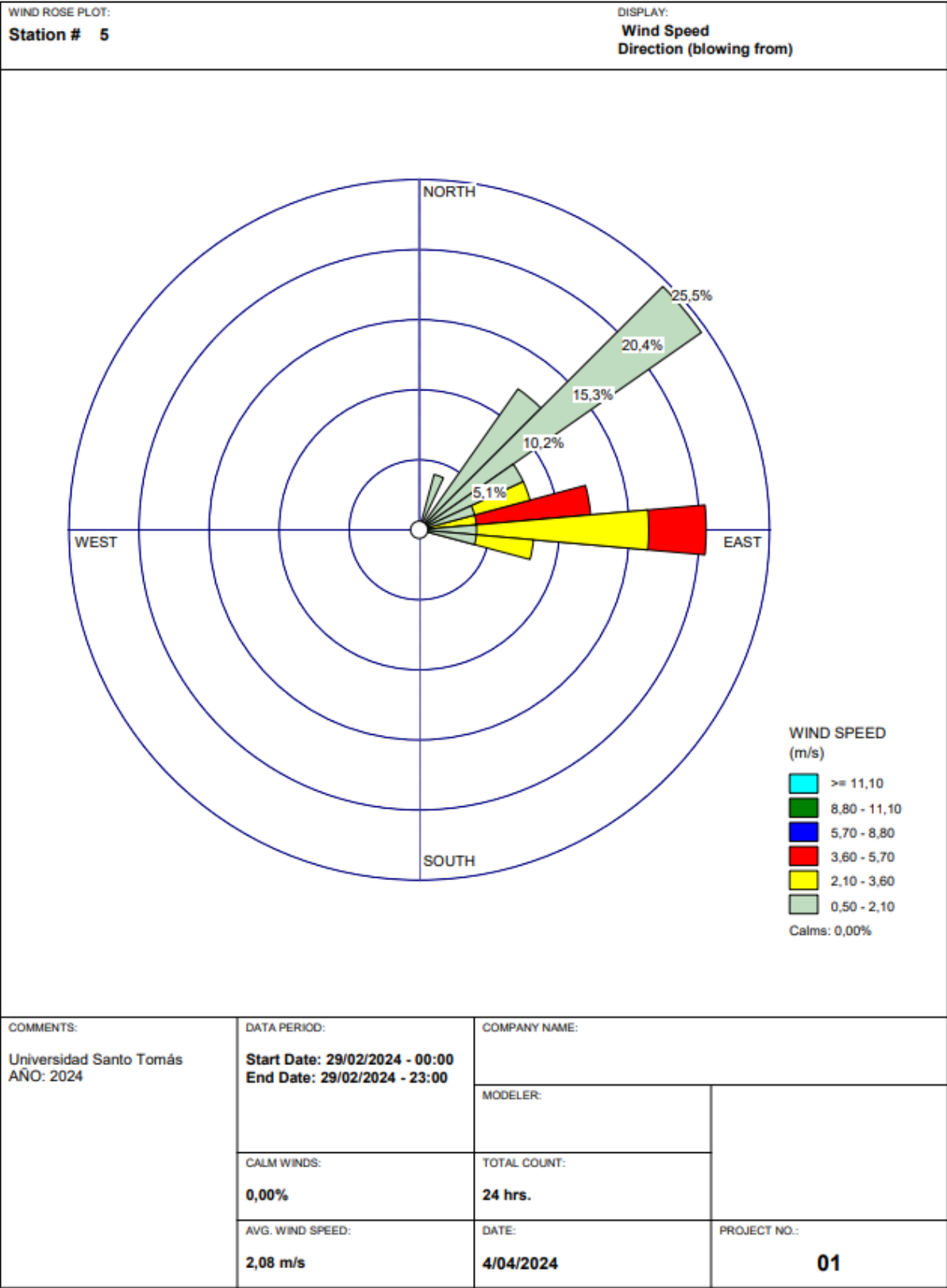


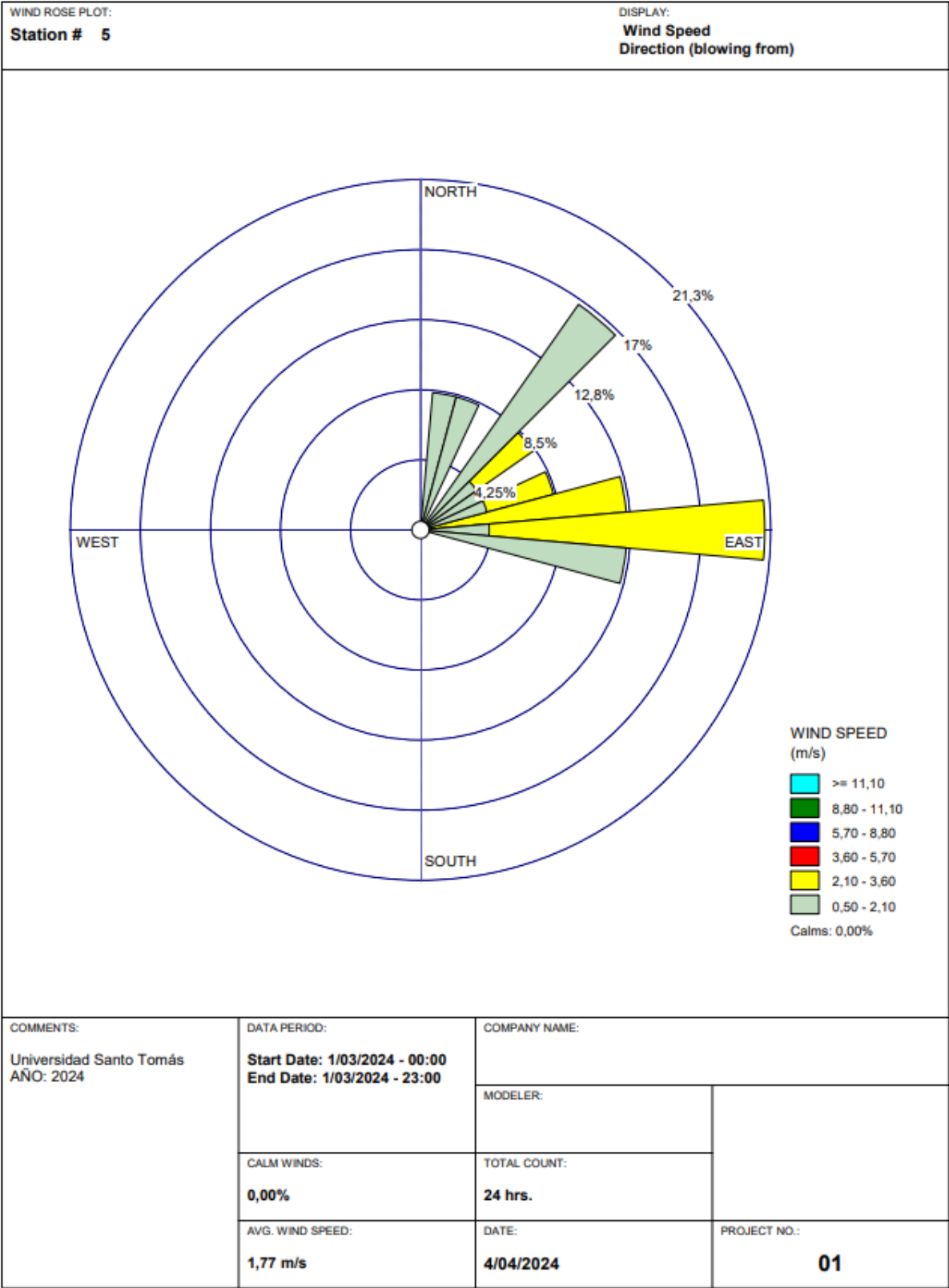


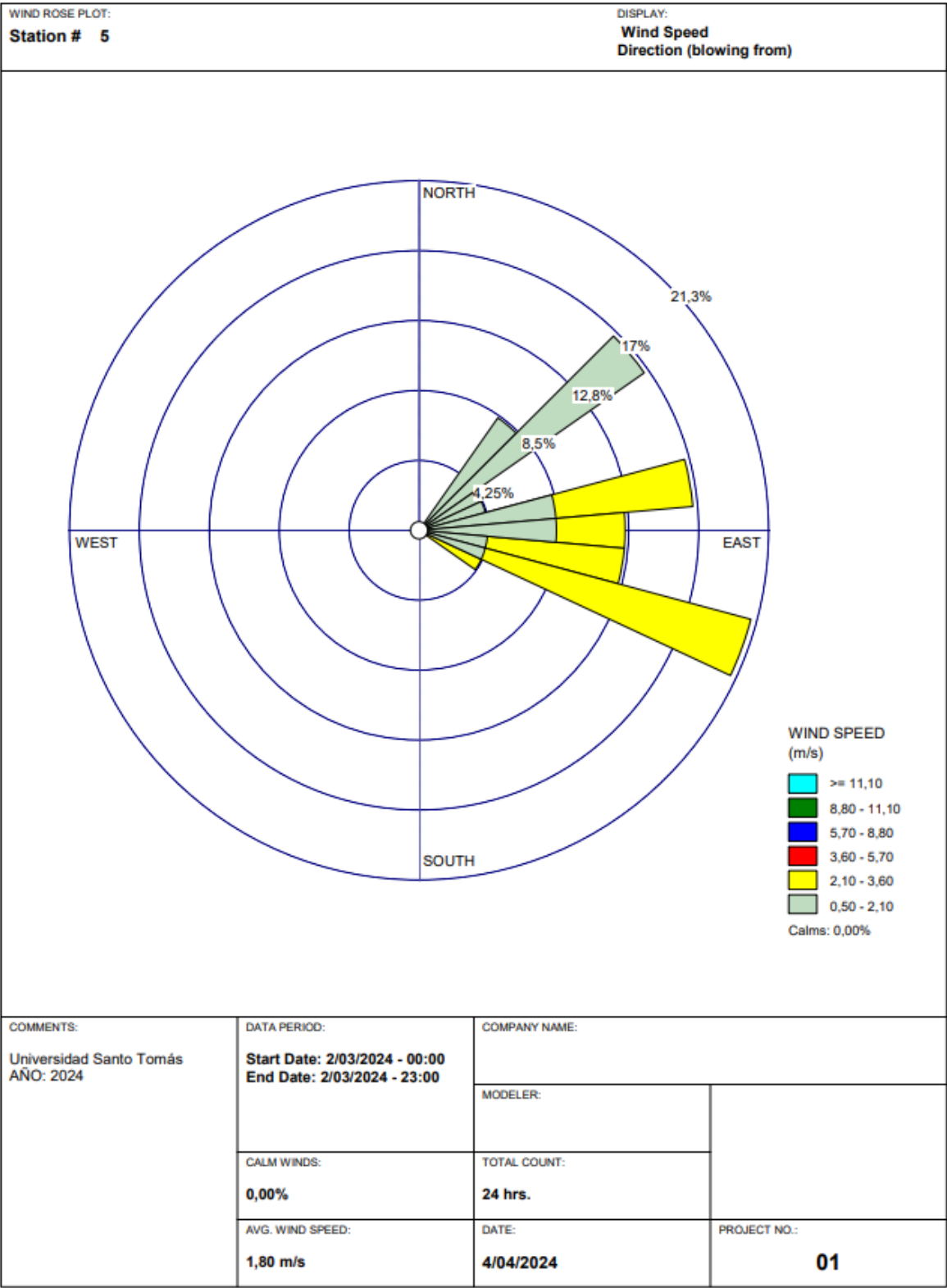


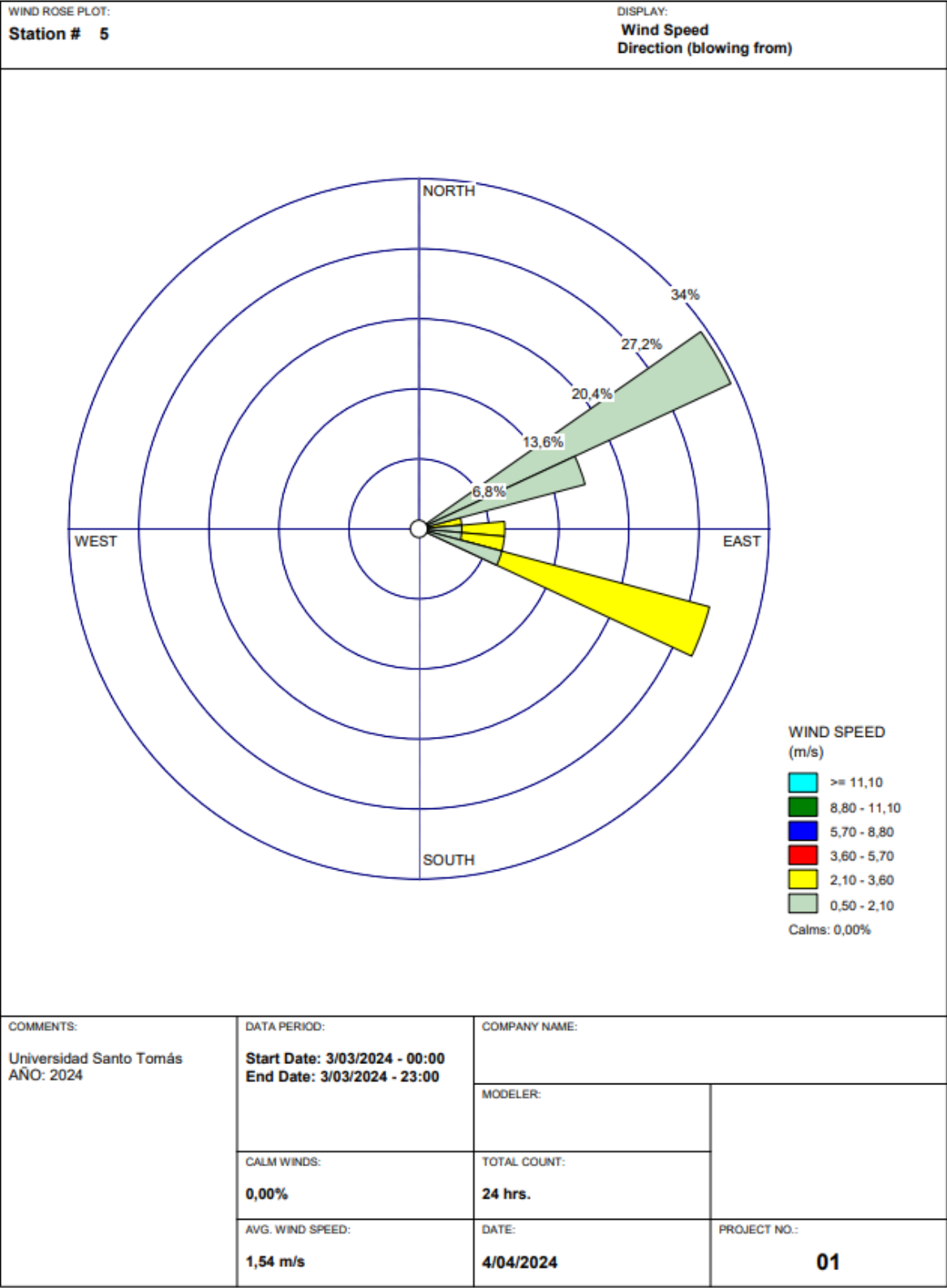


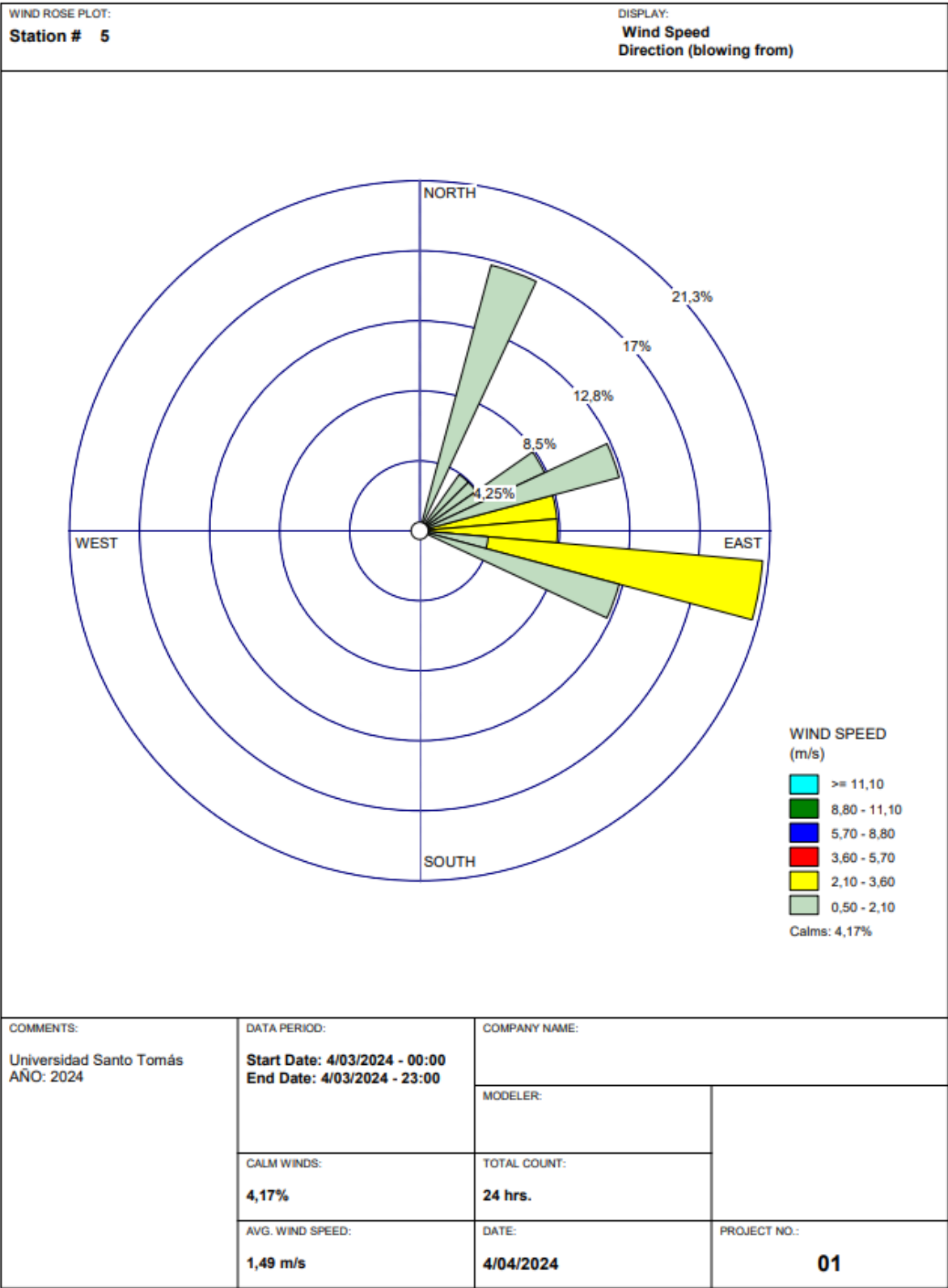


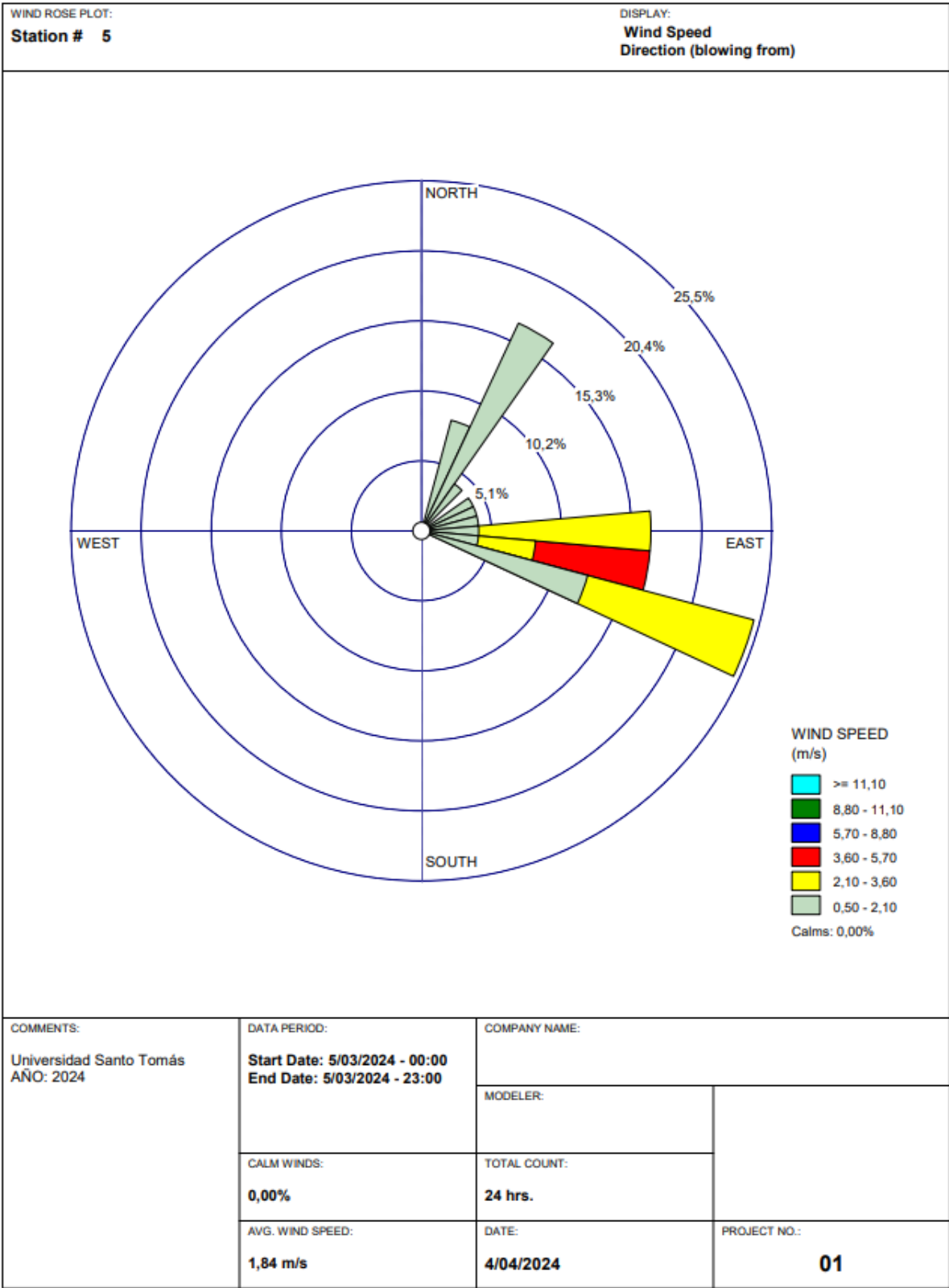


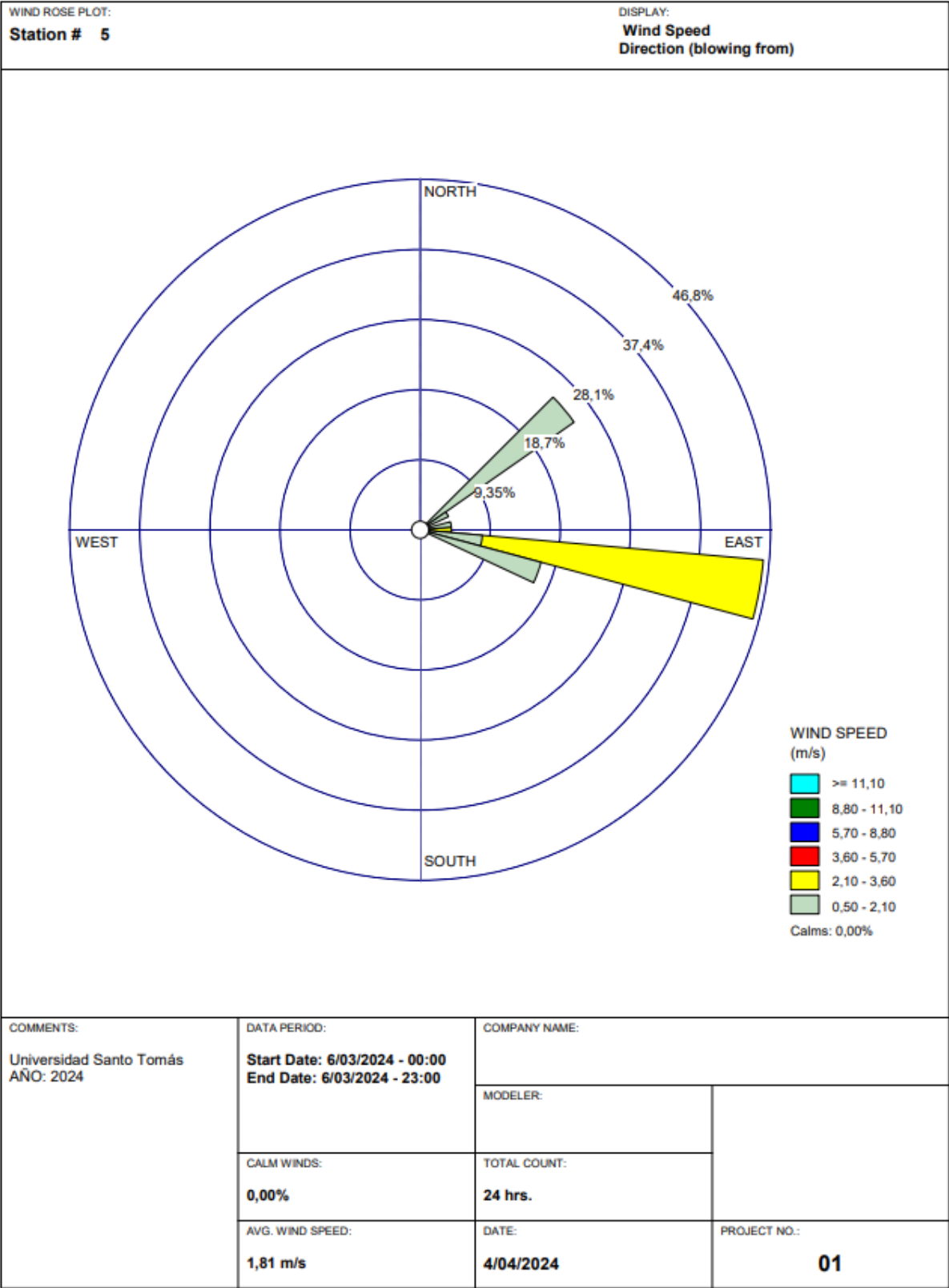




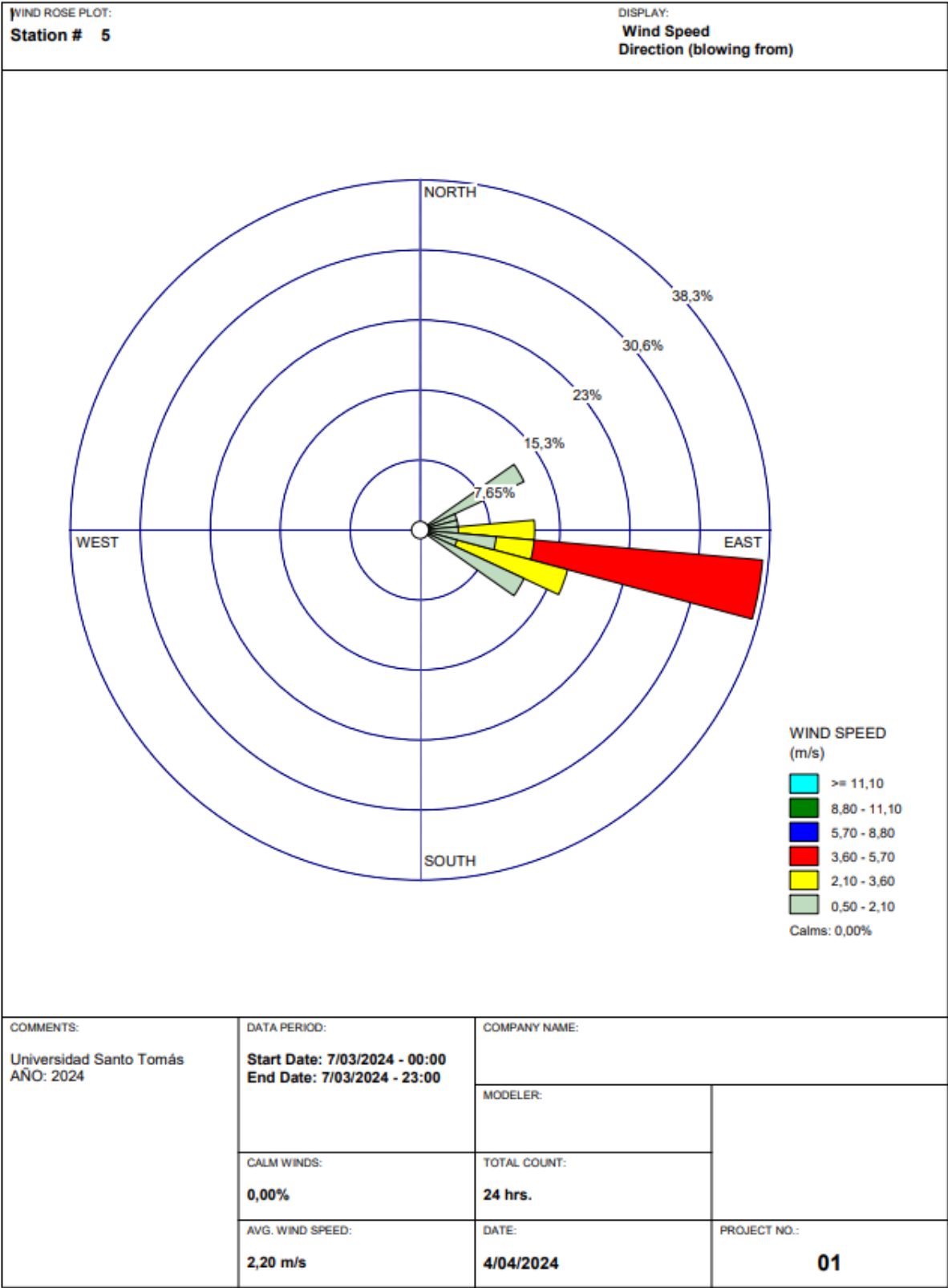


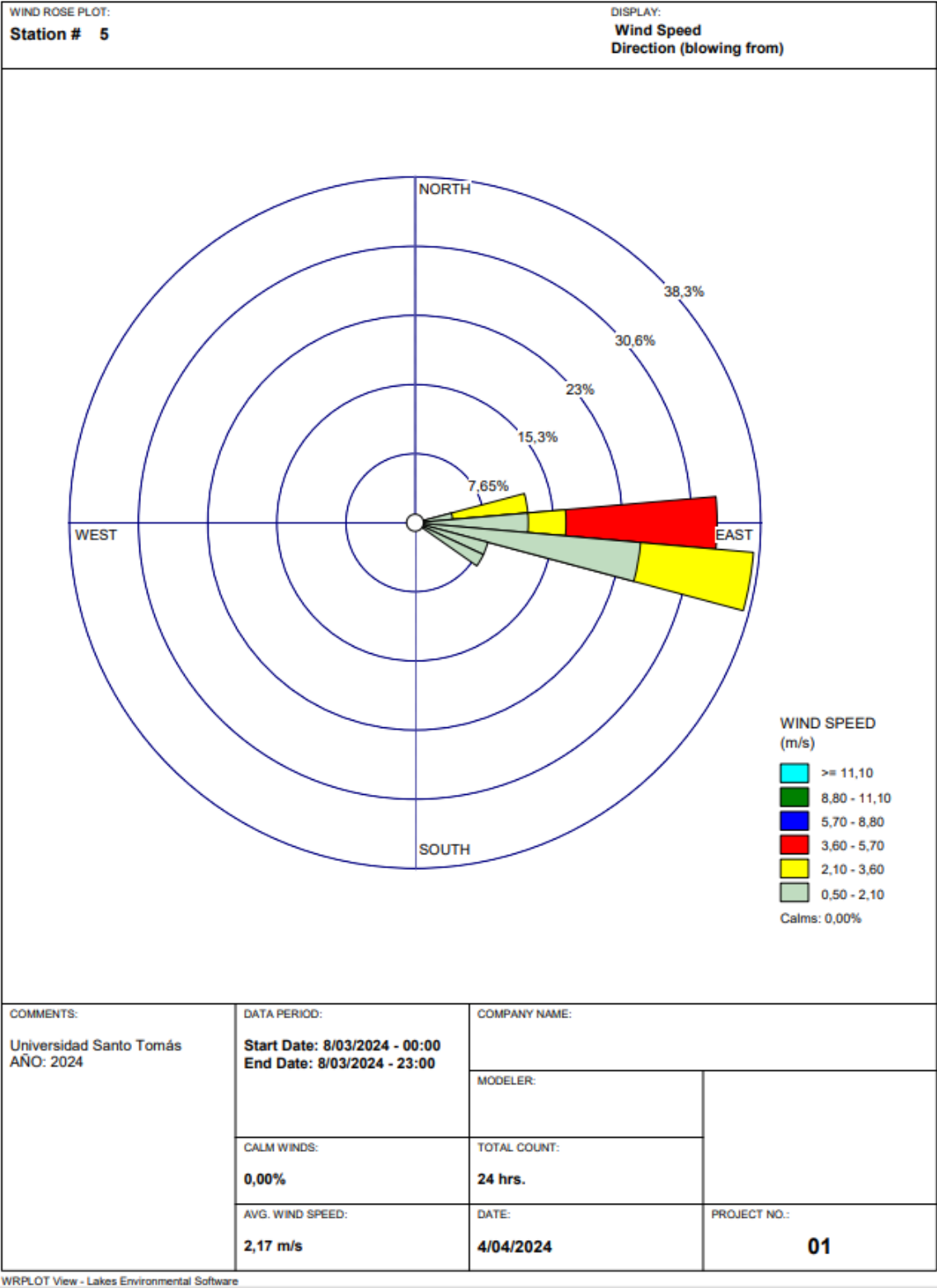


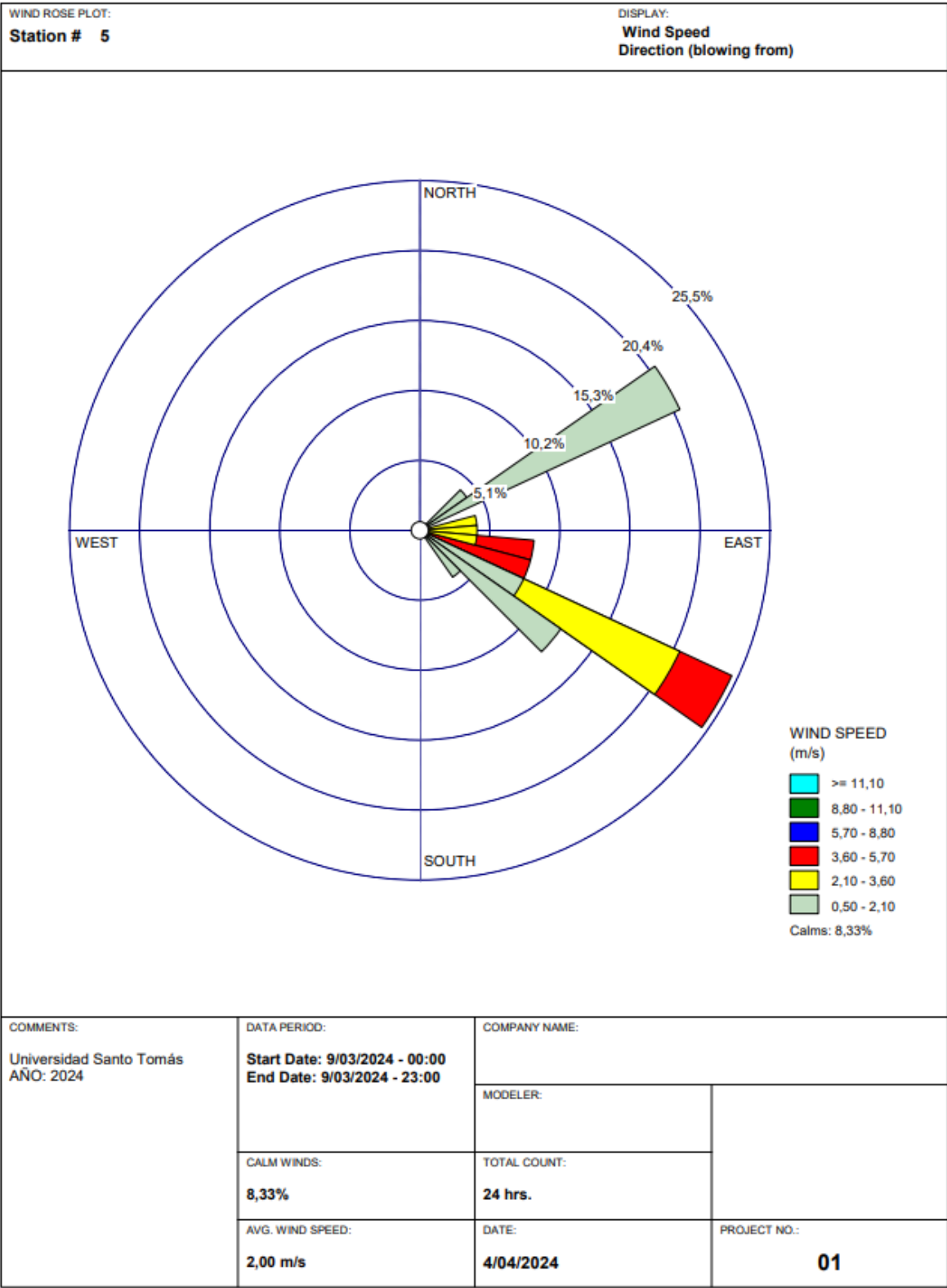


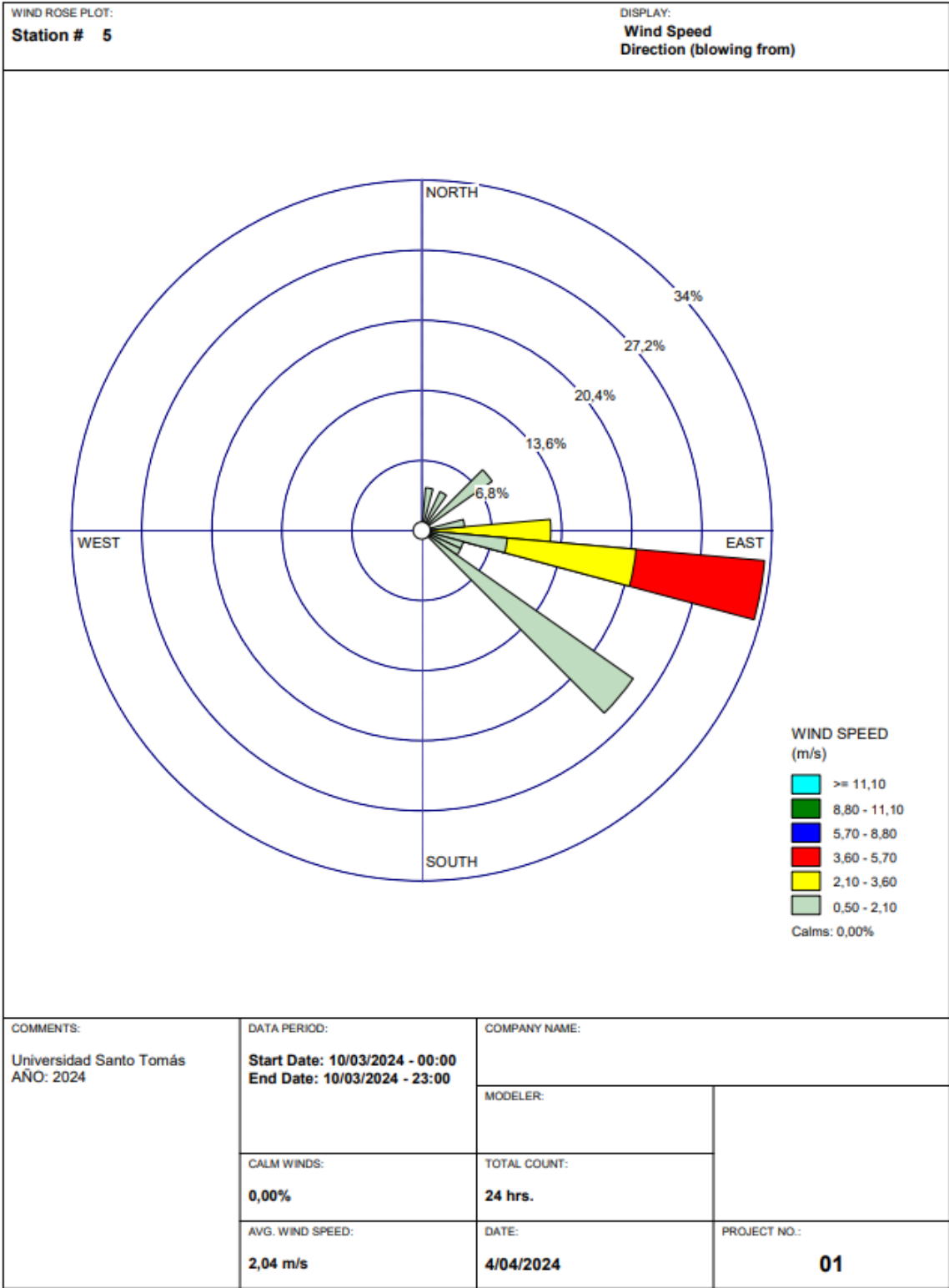


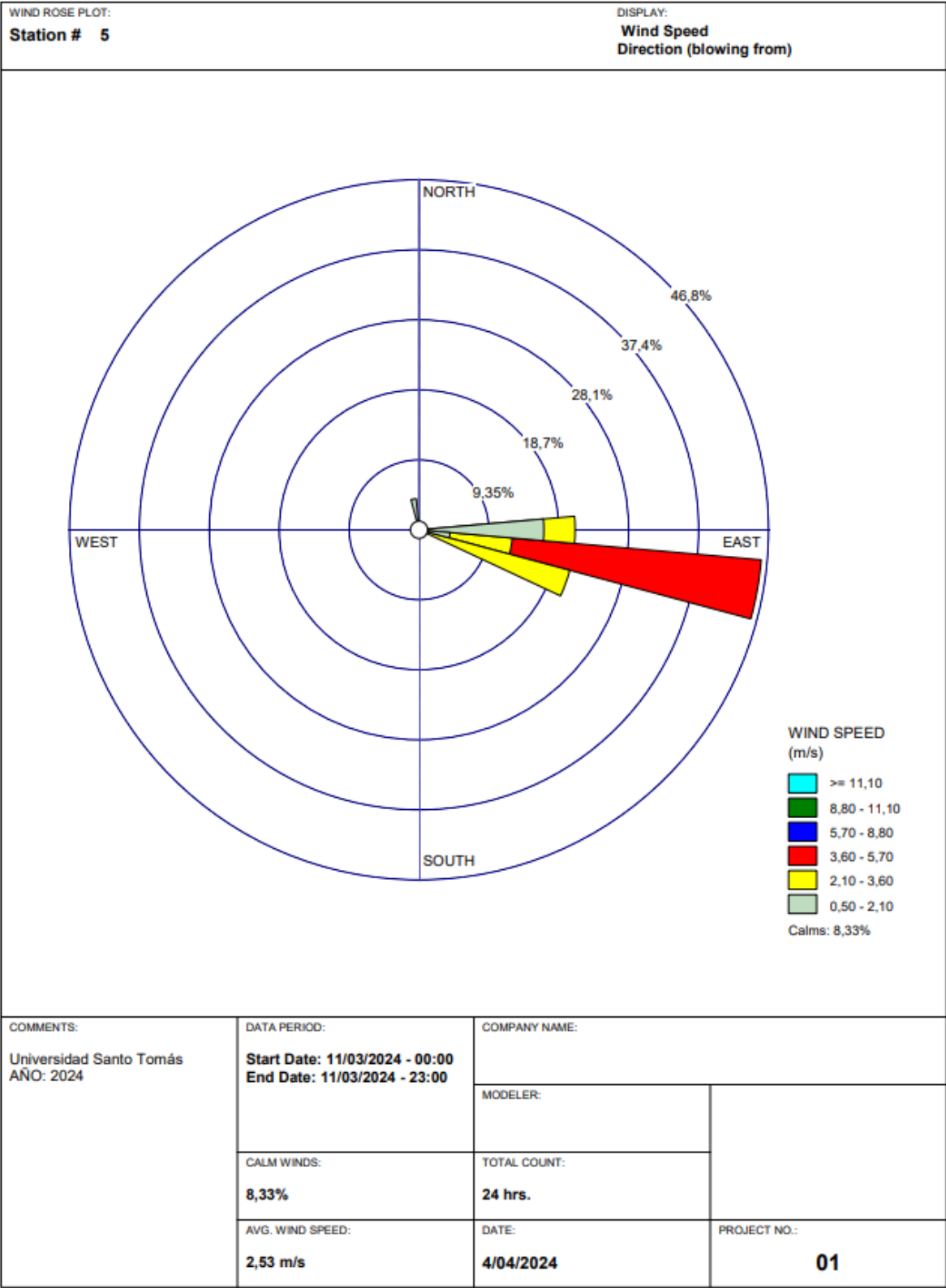
WRPLOT View - Lakes Environmental Software











Anexo 5 Cotización de análisis de Fluorescencia de rayos X – U. Nacional

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE BOGOTÁ

VICERRECTORÍA DE SEDE

DIRECCIÓN DE LABORATORIOS

LABORATORIO INTERFACULTADES DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X

Bogotá D.C., 02 abril de 2024

[COTIZACIÓN XRF-020-2024]

Señores
UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
NIT: 860012357-6
Atn. Diego Andrey Cortes
Docente
Carera 22 con Calle 1a Vía Puerto López
Teléfono: 608-6784260
Villavicencio - Meta
Correo: diegocortes@ustavillavicencio.edu.co
Facturación electrónica: radicacionfacturas@ustavillavicencio.edu.co

Respetados Señores:

Me permito presentar la cotización solicitada del análisis semicuantitativo no destructivo de una (04) muestras solidas (Filtros de cuarzo). Enmarcados dentro del Proyecto: "Determinación de la Calidad del aire respecto a la presencia de la sustancia de interés en el PM10 en el campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomas Sede Villavicencio".

- Costo unitario (Usuario Interinstitucional) \$ 232.00
- Costo Total (04 muestras) **\$ 928.000**

Usuario interinstitucional: en caso de requerir factura se debe anexar copia del RUT, de la Universidad, si es persona Natural copia de la Cedula de Ciudadanía y una carta en donde se exprese que, se está de acuerdo con la cotización y solicitan la elaboración de los análisis.

Equipo utilizado: Espectrómetro secuencial de fluorescencia de Rayos X,
MagixPro PW – 2440 Marca Philips.
Dispersivo en longitud de onda (WDXRF)
Tubo de Rodio, Potencia máxima de 4 KW.
Cinco (5) cristales analizadores
Tres (3) detectores
Sensibilidad de 100ppm (0.01%) en la detección de elementos pesados metálicos.

Especificaciones de la muestra: Secas.
Empacadas y rotuladas.
Cantidad (Filtros de 5,0 cm x 5,0 cm).
3 Filtros contaminados y 01 Filtro blanco

[Página 1 de 2]
Elaboró: Wilson

Carrera 30 No. 45 - 03
EDIFICIO MANUEL ANCÍZAR, Piso 1º, Oficina 114
Teléfono: Conmutador: (57-1) 316 5000 Ext. 16594 / 16596
Bogotá, Colombia
Correo electrónico: labfurx_celfbog@unal.edu.co

**Patrimonio
de todos
los colombianos**

Sede Bogotá | Vicerrectoría de Sede | Dirección de Laboratorios | Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X
Informe No. XRF-020-2024

Universidad
Nacional
de Colombia

Preparación de la muestra: Semicuantitativo (No destructivo). El análisis se realiza con el software SuperQ, haciendo 11 barridos, con el fin de detectar todos los elementos de la tabla periódica presentes en la muestra y su concentración, excluyendo H, Li, Be, B, C, N, O y los elementos transuránicos (93 a 103).

Recepción de las muestras: Laboratorio XRF.U. Nal Sede Bogotá.
Junto con la Orden de Servicio u Orden de Compra.

Tiempo entrega de resultados: De acuerdo al número de muestras:

1 a 5 muestras (1 semanas).
5 a 10 muestras (2 semanas).
10 a 15 muestras (3semanas).

Forma de Pago: Contado Comercial

El usuario procederá a realizar el trámite ante la respectiva facultad o dependencia, generación de la Orden de servicio, Orden de compra o consignación directa.

Favor realizar el pago entre el 01 y 20 del mes.

El pago deberá ser realizado en la siguiente cuenta de ahorros:

Banco Popular
Cuenta N° 01272053-8
Código N 20042627
Fondo Especial Dirección Académica U. Nal.
Concepto: Análisis Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X.

Nota: Tarifas validas hasta 31 de diciembre de 2024

Cordialmente,


Ing. WILSON ROMERO M.
Profesional de Apoyo

Somos grandes contribuyentes (Resolución DIAN No. 7714 del 16 de diciembre de 1996), no somos responsables de IVA (art. 92 de la Ley 30 de 1992), somos agentes de retención respecto al impuesto sobre las ventas, no sujetos al impuesto de industria y comercio. Somos Institución de Educación Superior no contribuyente del impuesto de renta según artículo 23 del E.T., favor abstenerse de efectuar retenciones en la fuente.

[Página 2 de 2]
Elaboró: Wilson

Carrera 30 No. 45 - 03
EDIFICIO MANUEL ANCÍZAR, Piso 1°, Oficina 114
Teléfono: Conmutador: (57-1) 316 5000 Ext. 16594 / 16596
Bogotá, Colombia
Correo electrónico: labfurx_ceifbog@unal.edu.co

Patrimonio
de todos
los colombianos

Anexo 6 Cotización de análisis de Espectrometría de absorción atómica – U. La Salle

UNIVERSIDAD DE

LASALLE

Laboratorio Instrumental de Alta Complejidad-LIAC

NIT: 860.015.542-6

Cra 5 # 59a-44 -Edificio Clínica de Optometría

Correo: contactoliac@lasalle.edu.co

Teléfono: 3488000 Ext. 1291/92

Celular: 3174341290

LIAC

Laboratorio Instrumental de Alta Complejidad

FL-02 Formato Pre-Solicitud Servicio

Fecha Vigente: 2020-02-20

Version: 1

COTIZACIÓN #	FECHA
2024-F-115	4/06/2024

INFORMACIÓN CLIENTE

Nombre Razón Social: **Universidad Santo Tomás**

Nombre contacto cotización: **Diego Andrey Cortes Naranjo**

Correo: diegocortes@ustavillavicencio.edu.co

Teléfono: 3212114292

DESCRIPCIÓN SERVICIO

Análisis de laboratorio en material particulado.

ANÁLISIS DE LABORATORIO					
PARÁMETRO-REFERENCIA	MÉTODO	LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Cadmio - ICP-OES	Espectrofotometría de emisión, ICP-PLASMA - EPA 625R-96/010 Compendio de Método IO-3.4, IO-3.5	0.002 µg/cm2	4	\$ 51.000	\$ 204.000
Pbomo ICP-OES	Espectrofotometría de emisión, ICP-PLASMA - EPA 625R-96/010 Compendio de Método IO-3.4, IO-3.16	0.004 µg/cm2	4	\$ 51.000	\$ 204.000
Azufre ICP-OES	Espectrofotometría de emisión, ICP-PLASMA - EPA 625R-96/010 Compendio de Método IO-3.4, IO-3.22	0.04 µg/cm2	4	\$ 51.000	\$ 204.000
				Subtotal	\$ 612.000
				IVA 19%	\$ -
				VALOR TOTAL	\$ 612.000

1. Los análisis cotizados se encuentran implementados pero no acreditados.

CONDICIONES COMERCIALES

ENTREGA DE RESULTADOS:

A convenir con el cliente por volumen de muestras cotizadas y análisis seleccionados.

CREACIÓN Y ADMISIÓN DEL CLIENTE

El LIAC cuenta con Procedimiento para la venta de servicios (POE-01 V17), las cuales deberá cumplir nuestro futuro cliente con el objetivo de ser admitido en la prestación de servicios especializados, diligenciando el FL-01 FORMATO INFORMACIÓN CLIENTES v7 y todos los documentos necesarios para sus respectivas aprobaciones (autorización base de datos, declaración de origen de recursos, reporte a centrales de riesgo y demás instancias que lo ameriten.)

CONDICIONES DE LA COTIZACIÓN

Aceptada la cotización entre las partes, efectuado el pago y devuelto una copia como acuse de recibo se generará factura electrónica a la dirección del cliente.

Pago por anticipo por entrega de cada servicio - pagos de facturación se deben realizar a través la plataforma Ecollect PAGO EN LINEA (<deben realizarlo a través del link de pagos en línea ubicado en la parte inferior de la página de la Universidad de La Salle e ingresando el número de documento. (NIT CON DÍGITO DE VERIFICACIÓN), por este canal se debe utilizar medios de pago como PSE, tarjeta débito o crédito. - Facturación Universidad de La Salle) o con la factura impresa de forma presencial en cualquier sucursal del banco Davivienda.

FORMA DE PAGO

Banco Davivienda -Cuenta de Ahorro Damas - Nº 0550007400412792 (los pagos realizados en cheque y/o facturas solo serán tenidas en cuenta cuando el valor del pago haga carje en las cuentas bancarias de la Universidad, por lo tanto, la entrega del informe de resultados solo se efectuarán 1 día después de que se haga efectiva la consignación). Nuestros clientes no podrán entregar dinero en efectivo a ninguna persona ni consignar en cuentas diferentes a las relacionadas al a la Universidad de La Salle.

CONFIRMACIÓN DE PAGO

Enviar el soporte de pago indicando número # de factura y/o # de Cotización e identificación a los siguientes correos electrónicos: contactoliac@lasalle.edu.co

HORARIO DE ATENCIÓN:

El horario de atención y recepción de muestras es de 8:00 a 12:00 y de 1:00 a 4:00 p.m., de lunes a viernes.

El recibido de muestras no implica aceptación sino hasta después de corroborar las condiciones apropiadas de entrega para análisis. La entrega del Formato de Cadena de Custodia digital es obligatoria para la aceptación de muestras.

VIGENCIA DE LA OFERTA:

30 días calendario

LIMITACIONES DE RESPONSABILIDADES

El cliente reconoce y acepta que la Universidad de La Salle - LIAC no será responsable por daños por concepto de lucro cesante, daño indirecto, moral, incidental, por repercusión, extracontractual, o como consecuencia de daños o perjuicios de cualquier tipo. El laboratorio tampoco será responsable por pérdidas de uso, datos, beneficios, ingresos, negocios, ahorros previstos, reputación, o cualquier otro tipo de pérdida de carácter económico, financiero, de imagen u otras derivadas o como consecuencia de los incidentes que dieron origen al reclamo del Cliente.

VIGENCIA DE LA OFERTA:

30 días calendario

OTROS:

• Se requieren filtros blanco de cada lote que se utiliza en el muestreo, para 100 muestras de un mismo lote se recomienda el procesamiento de 10 filtros; tener en cuenta que estos filtros se cobran como una muestra puesto que se analizan en paralelo a estas.

• N.C - No cuantificable

* Los tipos de filtros permitidos para muestreo de material particulado para parámetros químicos. Se mencionan a continuación: Sin embargo los filtros de cuarzo son los recomendados para todo tipo de ensayo.

TIPO DE FILTRO	HAPs	IONES/HPLC	ELEMENTOS/ ICP	TOT
CUARZO	X	X	X	X
TEFLON		X	X	
PVC		X	X	

• El laboratorio se hace responsable de la información obtenida durante la realización de los análisis y esta es considerada confidencial. En caso de ser requerida dicha información por un ente de control, el cliente será informado con antelación, salvo que esté prohibido por norma o requerimiento legal.

• Los análisis cotizados se encuentran implementados pero no acreditados

• El laboratorio excluye los numerales de la norma ISO/IEC 17025:2017: 7.1.3 - 7.3 Muestreo y 7.8.4 Certificados de Calibración

Los términos de la cotización emitida se rigen por las disposiciones aplicables del Código de Comercio y aunque el cliente no tenga la claridad de los actos propios de comercio, por este acto se reconoce que se le aplicarán las disposiciones legales en la materia.

* En caso de requerir una Declaración de Conformidad con una especificación o norma para los ensayos que usted requiere por ejemplo (pasa / no pasa, cumple / no cumple, tolerancia / fuera de tolerancia); agradecemos que nos aclare la especificación o norma contra la cual se generará dicha declaración.

INFORMACIÓN UNIVERSIDAD DE LA SALLE -NIT: 860.015.542-6

La Universidad de La Salle, es una entidad sin ánimo de lucro, por tanto, está exenta de retención en la fuente.

No somos contribuyentes del impuesto de renta.

No somos responsables del impuesto sobre las ventas.

Cordialmente,

Anexo 7 Resultados del cálculo de la concentración diaria corregida

[illegible]

Anexo 8 Resultados espectrometría por absorción atómica – U. La Salle

INFORME DE RESULTADOS No. 2326							
Código LIAC	Matriz	Método/Referencia	Unidades	Resultado	Rango Normatividad	Fecha Análisis	Observaciones
15480	MATERIAL PARTICULADO	Aluminio Espectrofotometría de emisión. ICP-PLASMA - EPA 625/R-96/010 Compendio de Método IO-3.4, IO-3.1/Espectrofotometría de emisión. ICP-PLASMA	µg/cm2	1,610	NA	2024/07/10	

Este Informe de resultados termina en esta línea

INFORME DE RESULTADOS No. 2327							
Código LIAC	Matriz	Método/Referencia	Unidades	Resultado	Rango Normatividad	Fecha Análisis	Observaciones
15481	MATERIAL PARTICULADO	Cadmio - Espectrofotometría de emisión. ICP-PLASMA - EPA 625/R-96/010 Compendio de Método IO-3.4, IO-3.1/Espectrofotometría de emisión. ICP-PLASMA	µg/cm2	<0,002 No detectado	NA	2024/07/10	

Este Informe de resultados termina en esta línea

INFORME DE RESULTADOS No. 2328							
Código LIAC	Matriz	Método/Referencia	Unidades	Resultado	Rango Normatividad	Fecha Análisis	Observaciones
15482	MATERIAL PARTICULADO	Plomo - Espectrofotometría de emisión. ICP-PLASMA - EPA 625/R-96/010 Compendio de Método IO-3.4, IO-3.1/Espectrofotometría de emisión. ICP-PLASMA	ug/cm2	0,0170	NA	2024/07/10	

Este Informe de resultados termina en esta línea

INFORME DE RESULTADOS No. 2329							
Código LIAC	Matriz	Método/Referencia	Unidades	Resultado	Rango Normatividad	Fecha Análisis	Observaciones
15483	MATERIAL PARTICULADO	Azufre - Espectrofotometría de emisión. ICP-PLASMA - EPA 625/R-96/010 Compendio de Método IO-3.4, IO-3.1/Espectrofotometría de emisión. ICP-PLASMA	µg/cm2	6,68	NA	2024/07/10	

Este Informe de resultados termina en esta línea

INFORME DE RESULTADOS No. 2330							
Código LIAC	Matriz	Método/Referencia	Unidades	Resultado	Rango Normatividad	Fecha Análisis	Observaciones
15484	MATERIAL PARTICULADO	Aluminio Espectrofotometría de emisión. ICP-PLASMA - EPA 625/R-96/010 Compendio de Método IO-3.4, IO-3.1/Espectrofotometría de emisión. ICP-PLASMA	µg/cm2	0,939	NA	2024/07/10	

Este Informe de resultados termina en esta línea



INFORME DE RESULTADOS No. 2331							
Código LIAC	Matriz	Método/Referencia	Unidades	Resultado	Rango Normatividad	Fecha Análisis	Observaciones
15485	MATERIAL PARTICULADO	Cadmio - Espectrofotometría de emisión. ICP-PLASMA - EPA 625/R-96/010 Compendio de Método IO-3.4, IO-3.1/Espectrofotometría de emisión. ICP-PLASMA	µg/cm2	<0,002 No detectado	NA	2024/07/10	

Este Informe de resultados termina en esta línea

INFORME DE RESULTADOS No. 2332							
Código LIAC	Matriz	Método/Referencia	Unidades	Resultado	Rango Normatividad	Fecha Análisis	Observaciones
15486	MATERIAL PARTICULADO	Plomo - Espectrofotometría de emisión. ICP-PLASMA - EPA 625/R-96/010 Compendio de Método IO-3.4, IO-3.1/Espectrofotometría de emisión. ICP-PLASMA	µg/cm ²	0,013	NA	2024/07/10	

Este Informe de resultados termina en esta línea

INFORME DE RESULTADOS No. 2333							
Código LIAC	Matriz	Método/Referencia	Unidades	Resultado	Rango Normatividad	Fecha Análisis	Observaciones
15487	MATERIAL PARTICULADO	Azufre - Espectrofotometría de emisión. ICP-PLASMA - EPA 625/R-96/010 Compendio de Método IO-3.4, IO-3.1/Espectrofotometría de emisión. ICP-PLASMA	µg/cm2	4,640	NA	2024/07/10	

Este Informe de resultados termina en esta línea

INFORME DE RESULTADOS No. 2334							
Código LIAC	Matriz	Método/Referencia	Unidades	Resultado	Rango Normatividad	Fecha Análisis	Observaciones
15488	MATERIAL PARTICULADO	Aluminio Espectrofotometría de emisión. ICP-PLASMA - EPA 625/R-96/010 Compendio de Método IO-3.4, IO-3.1/Espectrofotometría de emisión. ICP-PLASMA	µg/cm2	22,35	NA	2024/07/10	

Este Informe de resultados termina en esta línea

INFORME DE RESULTADOS No. 2335							
Código LIAC	Matriz	Método/Referencia	Unidades	Resultado	Rango Normatividad	Fecha Análisis	Observaciones
15489	MATERIAL PARTICULADO	Cadmio - Espectrofotometría de emisión. ICP-PLASMA - EPA 625/R-96/010 Compendio de Método IO-3.4, IO-3.1/Espectrofotometría de emisión. ICP-PLASMA	µg/cm2	<0,002 No detectado	NA	2024/07/10	

Este Informe de resultados termina en esta línea

INFORME DE RESULTADOS No. 2336							
Código LIAC	Matriz	Método/Referencia	Unidades	Resultado	Rango Normatividad	Fecha Análisis	Observaciones
15490	MATERIAL PARTICULADO	Plomo - Espectrofotometría de emisión. ICP-PLASMA - EPA 625/R-96/010 Compendio de Método IO-3.4, IO-3.1/Espectrofotometría de emisión. ICP-PLASMA	µg/cm2	0,011	NA	2024/07/10	

Este Informe de resultados termina en esta línea

INFORME DE RESULTADOS No. 2337							
Código LIAC	Matriz	Método/Referencia	Unidades	Resultado	Rango Normatividad	Fecha Análisis	Observaciones
15491	MATERIAL PARTICULADO	Azufre - Espectrofotometría de emisión. ICP-PLASMA - EPA 625/R-96/010 Compendio de Método IO-3.4, IO-3.1/Espectrofotometría de emisión. ICP-PLASMA	µg/cm ²	3,73	NA	2024/07/10	

Este Informe de resultados termina en esta línea

Anexo 9 Índice de calidad el aire para el periodo de monitoreo de 18 días

Cp	I bajo	I alto	PC bajo	PC alto	ICAp	ICAp	Estado
28.70	0	50	0	54	26.6	0.0	Bueno
36.53	0	50	0	54	33.8	0.0	Bueno
56.09	51	100	55	154	0.0	51.5	Aceptable
68.65	51	100	55	154	0.0	57.8	Aceptable
69.07	51	100	55	154	0.0	58	Aceptable
49.09	0	50	0	54	45.5	0.0	Bueno
62.00	51	100	55	154	0.0	54.5	Aceptable
36.35	0	50	0	54	33.7	0.0	Bueno
62.18	51	100	55	154	0.0	54.6	Aceptable
55.16	51	100	55	154	0.0	51.1	Aceptable
56.92	51	100	55	154	0.0	51.9	Aceptable
67.72	51	100	55	154	0.0	57.3	Aceptable
44.35	0	50	0	54	41.1	0.0	Bueno
21.14	0	50	0	54	19.6	0.0	Bueno
55.30	51	100	55	154	0.0	51.1	Aceptable
21.08	0	50	0	54	19.5	0.0	Bueno
64.46	51	100	55	154	0.0	55.7	Aceptable
64.03	51	100	55	154	0.0	55.5	Aceptable

Anexo 10 Mapa de localización de la zona de estudio