



Universidad Católica de Santa María

Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

**Evaluación de la calidad del aire según el índice nacional de calidad de aire
(PM10 - PM2.5) en el distrito de Socabaya durante el periodo 2023-2024**

Tesis presentada por:

Hatamare Vargas, Harold Hernan

ORCID: 0009-0000-2938-2063

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesora:

Mg. Lazarte Arredondo, Sonia

ORCID: 0000-0002-8696-6708

Arequipa – Perú

2026

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA AMBIENTAL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 24 de Octubre del 2025

Dictamen: 012756-C-EPIA-2025

Visto el borrador del expediente 012756, presentado por:

2018701031 - HATAMARE VARGAS HAROLD HERNAN

Titulado:

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE SEGÚN EL ÍNDICE NACIONAL DE CALIDAD DE AIRE
(PM10 - PM2.5) EN EL DISTRITO DE SOCABAYA DURANTE EL PERIODO 2023-2024**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO AMBIENTAL

**46769238 - CHANOVE MANRIQUE ANDREA MARIETA
DICTAMINADOR**



**29519918 - BEJARANO MEZA MARIA ELIZABETH
DICTAMINADOR**



**72384055 - MEDINA RAMOS ROBERT JOAQUIN
DICTAMINADOR**



Evaluación de la calidad del aire según el índice nacional de calidad de aire (PM10 - PM2.5) en el distrito de Socabaya durante el periodo 2023-2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

INDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

8%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to ucss Trabajo del estudiante	<1 %
2	www.inei.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
3	www.mdpi.com Fuente de Internet	<1 %
4	dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
5	www.fecyt.es Fuente de Internet	<1 %
6	dspace.unach.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
7	documentop.com Fuente de Internet	<1 %
8	repositorio.cidecuador.org Fuente de Internet	<1 %

DEDICATORIA

A Dios.

Gracias por darme la oportunidad de llegar hasta aquí en mi vida, por darme la salud, la fuerza y la sabiduría para lograr mis metas, y por todos los pasos que he tenido en el camino que han sido por su amor y su infinita bondad.

A mi madre, Sonia.

Por siempre estar aquí y apoyarme en todas las etapas de mi vida. Los consejos que me dio, los principios que me inculcó, y la motivación que me brindó, han sido muy importantes en el desarrollo de mi persona. Como siempre, el amor que me dio, ha sido la fuerza en los momentos críticos y la motivación que me impulsó a seguir adelante y a establecer más metas para seguir progresando.

A mi padre Hernán.

Quien siempre estuvo pendiente de mí, brindándome consejos que me ha infundado siempre, por su gran sabiduría, paciencia y perseverancia que me animaron a lograr este objetivo.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento a quienes me brindaron su apoyo a lo largo del desarrollo de esta tesis. En especial, agradezco a quienes confiaron en mí, me acompañaron y me ofrecieron su ayuda, motivación y palabras de aliento durante cada etapa de este proceso. Su respaldo fue fundamental para superar los desafíos y mantener la constancia necesaria para culminar este trabajo.

Asimismo, expreso mi gratitud a la Universidad, por brindarme la formación académica, los recursos y el espacio necesario para mi crecimiento profesional. A través de sus docentes y programas, me permitió adquirir los conocimientos y habilidades que hicieron posible realizar esta investigación.



RESUMEN

La calidad del aire del distrito Socabaya fue analizada utilizando varias técnicas y métodos. Se usaron registros de concentración de material particulado PM10 y PM2.5 de la Estación de Monitoreo Ambiental Automática GRIMM EDM 180 localizada en la Institución Educativa Corazón de Jesús. Este dispositivo de monitoreo proporciona datos confiables de la situación atmosférica de la zona de estudio.

Para su evaluación se consideraron los datos registrados entre julio de 2023 hasta junio de 2024. De esta evaluación se determinó la condición del aire del distrito, y se compararon los resultados con los criterios establecidos del INCA y el AQI de la Agencia estadounidense EPA.

Socabaya ha medido la calidad del aire en el nivel recomendado para el período de informe. Los resultados de monitoreo de la calidad del aire han establecido ahora una línea de base para posteriores evaluaciones ambientales y el monitoreo de los cambios en la calidad del aire dentro del distrito. Los resultados de este monitoreo en Socabaya se reportaron al Programa INCA y han indicado que los niveles de calidad del aire PM10 y PM2.5 están en la categoría moderada, mientras que el AQI ha reportado que la calidad del aire está en esa misma categoría.

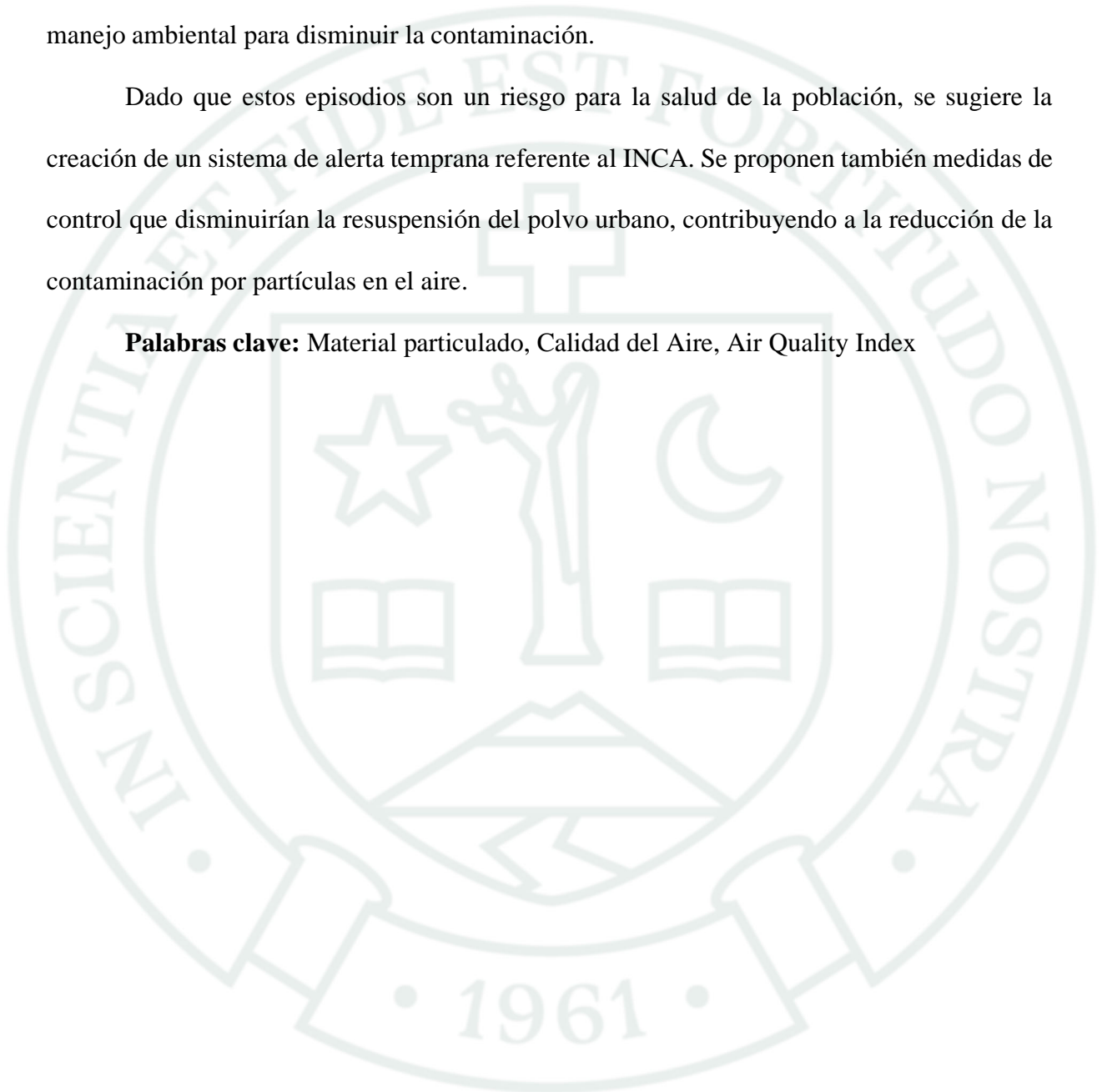
Los resultados del análisis indicaron que los niveles de PM10 entre julio a septiembre de 2023, como en junio de 2024, superaron los niveles establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental contenidos en el Decreto Supremo No. 003-2017-MINAM. Por otro lado, durante el mismo período, los niveles de PM2.5 identificados se mantuvieron dentro de los niveles de cumplimiento establecidos por la normativa vigente.

Los elevados niveles de PM10 que se registran en algunos meses, ponen de manifiesto que la región estudiada es ambientalmente vulnerable, debido a que el aire se encuentra expuesto a fuentes diversas de contaminación, tanto de origen natural como de origen antrópico, lo que se traduce en deterioro de la calidad del aire y un riesgo potencial para la salud de la población del distrito de Socabaya.

El estudio también incluyó un modelo predictor simple, a partir de las series de tiempo, usando la técnica de promedio móvil, con la finalidad de estimar el comportamiento futuro que podrían tener las concentraciones de PM10 y PM2.5 en el lapso de tres años. Considerando los episodios de mala calidad del aire que se registran con frecuencia, se incluyeron propuestas de manejo ambiental para disminuir la contaminación.

Dado que estos episodios son un riesgo para la salud de la población, se sugiere la creación de un sistema de alerta temprana referente al INCA. Se proponen también medidas de control que disminuirían la resuspensión del polvo urbano, contribuyendo a la reducción de la contaminación por partículas en el aire.

Palabras clave: Material particulado, Calidad del Aire, Air Quality Index



ABSTRACT

This research, developed using a descriptive quantitative methodology, was implemented and developed to assess air quality in the Socabaya district. The PM₁₀ and PM_{2.5} values were obtained from the GRIMM EDM 180 Automatic Environmental Monitoring Station installed at the Corazón de Jesús Educational Institution for collection and evaluation. The main objective was to determine air quality in the Socabaya district using the National Air Quality Index (INCA) and the AQI established by the United States Environmental Protection Agency (EPA) for the period from July 2023 to June 2024.

According to the assessment, the air quality results obtained in the Socabaya district using the INCA methodology were classified as moderate for PM₁₀ and PM_{2.5} particulate matter. The AQI was classified as moderate using the AQI methodology. This research is of fundamental importance because it establishes a baseline that will allow for future monitoring and comparison of potential air quality disturbances.

According to the results obtained, it was determined that PM₁₀ concentrations in the months of July, August, September 2023, and June 2024 exceeded the ECA (Air Quality Standards) established by Supreme Decree No. 003-2017-MINAM. However, PM_{2.5} concentrations remained constant and did not exceed the ECA. The disturbance in air quality caused by PM₁₀ particulate matter in the months of July, August, September 2023, and June 2024 highlights the fragility of the ecosystem, which, subjected to natural and/or anthropogenic emission sources, alters air quality to the detriment of the population of the Socabaya District

A simple time-series predictive model based on the moving average technique was incorporated to estimate future concentrations of particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}) in the Socabaya district for the next three years. Management measures have also been proposed, as episodes of poor air quality were identified based on PM₁₀ and PM_{2.5} levels. This poses a risk

to the population, and an early warning system based on the National Air Quality Index and monitoring measures to reduce dust in the urban environment are being proposed.

Keywords: Particulate Matter, Air Quality, Air Quality Index



ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN..... 1

CAPÍTULO I 3

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 4

1.1. Problemática de la investigación 4

1.2. Justificación de la Investigación 6

1.2.1. Social 6

1.2.2. Económica 7

1.2.3. Ambiental 7

1.2.4. Institucional 7

1.3. Objetivos 8

1.3.1. Objetivo General 8

1.3.2. Objetivos Específicos 8

CAPÍTULO II..... 9

2. FUNDAMENTO TEORICO..... 10

2.1. Antecedentes de la investigación 10

2.2. Marco teórico 14

2.2.1. El aire 14

2.2.2. La contaminación atmosférica 15

2.2.3. Contaminantes del Aire 15

2.2.4. Fuentes de contaminación 16

2.2.5. Dispersión de contaminantes en el aire 18

2.2.6. Material Particulado 20

2.2.7. Meteorología 24

2.2.8. Elementos meteorológicos 24

2.2.9. Métodos de Medición de Contaminantes Atmosféricos 28

2.2.10. Índice Nacional de Calidad de Aire (INCA) 30

2.2.11. Efectos en la salud del material particulado (PM10, PM2.5) 31

2.3. Marco Legal 32

2.3.1.	Ley N° 28611 “Ley General del Ambiente”	32
2.3.2.	Ley General de Salud Ley N° 26842.....	32
2.3.3.	Estándar de Calidad de Aire D.S N° 003-2017 MINAM.....	33
2.3.4.	Decreto Supremo N° 012-2009-MINAM	33
2.3.5.	Constitución Política del Perú	34
CAPÍTULO III		35
3.	METODOLOGÍA	36
3.1.	Tipo y Nivel de Investigación.....	36
3.2.	Operacionalización de variables	36
3.2.1.	Variables dependientes.....	36
3.2.2.	Variables independientes.....	36
3.3.	Ubicación de la zona de estudio	37
3.3.1.	Características del distrito de Socabaya	37
3.3.2.	Límites del área de estudio	37
3.4.	Área de estudio	38
3.4.1.	Descripción del punto de monitoreo	38
3.4.2.	Caracterización de la zona de estudio	38
3.5.	Población y Muestra	39
3.5.1.	Población.....	39
3.5.2.	Muestra.....	39
3.6.	Métodos de recolección de datos	40
3.6.1.	Datos de PM10 y PM2.5	40
3.6.2.	Datos meteorológicos	40
3.7.	Técnicas e instrumentos para la recopilación de datos	41
3.7.1.	Técnica	41
3.7.2.	Instrumentos	41
3.8.	Metodología de la investigación	42
3.8.1.	Caracterización del aire en el Distrito de Socabaya	42
3.8.2.	Índices de calidad de aire: INCA y AQI	44
3.8.3.	Determinación de la calidad de Aire AQI.....	46
3.8.4.	Evaluación del cumplimiento de los ECA-Aire	49
3.8.5.	Evolución mensual de la calidad del aire	50
3.8.6.	Análisis de tendencia mediante promedio móvil	50
CAPÍTULO IV		51

4. RESULTADOS	52
4.1. Resultados diarios y mensuales de PM ₁₀ y PM _{2.5}	52
4.2. Resultados del Índice Nacional de Calidad de Aire (INCA) y AQI.....	64
4.2.1. Índice Nacional de Calidad de Aire (INCA) en época lluviosa	64
4.2.2. Índice Nacional de Calidad de Aire (INCA) en época seca	66
4.2.3. Índice Nacional de Calidad de Aire (INCA) para PM ₁₀	67
4.2.4. Índice Nacional de Calidad de Aire (INCA) para PM _{2.5}	68
4.2.5. Resultados del AQI en época lluviosa.....	69
4.2.6. Resultados del AQI en época seca	70
4.2.7. AQI para PM ₁₀	71
4.2.8. AQI para PM _{2.5}	72
4.3. Resultados del cumplimiento de los ECA	73
4.3.1. Material Particulado PM ₁₀	73
4.3.2. Material Particulado PM _{2.5}	75
4.4. Resultados de la evolución mensual de la calidad del aire	76
4.4.1. Variación de las concentraciones de PM ₁₀ y PM _{2.5}	76
4.4.2. Variación del INCA para PM ₁₀ y PM _{2.5}	77
4.4.3. Variación del AQI para PM ₁₀ y PM _{2.5}	78
4.5. Análisis estadístico de la relación entre INCA y AQI.....	79
4.5.1. Regresión lineal entre los índices INCA y AQI.....	79
4.6. Resultados meteorológicos	81
4.6.1. Rosa de viento época seca.....	81
4.6.2. Rosa de viento época lluviosa	82
4.6.3. Rosa de Vientos Anual.....	83
4.7. Análisis de tendencia mediante promedio móvil.....	84
4.7.1. Estimación de tendencia y pronóstico de PM ₁₀ por promedio móvil.....	84
4.7.2. Estimación de tendencia y pronóstico de PM _{2.5} por promedio móvil	85
4.8. Medidas de gestión ambiental y los impactos generados por PM ₁₀ y PM _{2.5}	86
4.8.1. Implementación de mecanismos de alerta temprana.....	86
4.8.2. Control y reducción del polvo urbano.....	87
DISCUSIÓN.....	88
CONCLUSIONES	92
RECOMENDACIONES.....	94
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95

ÍNDICE DE TABLAS

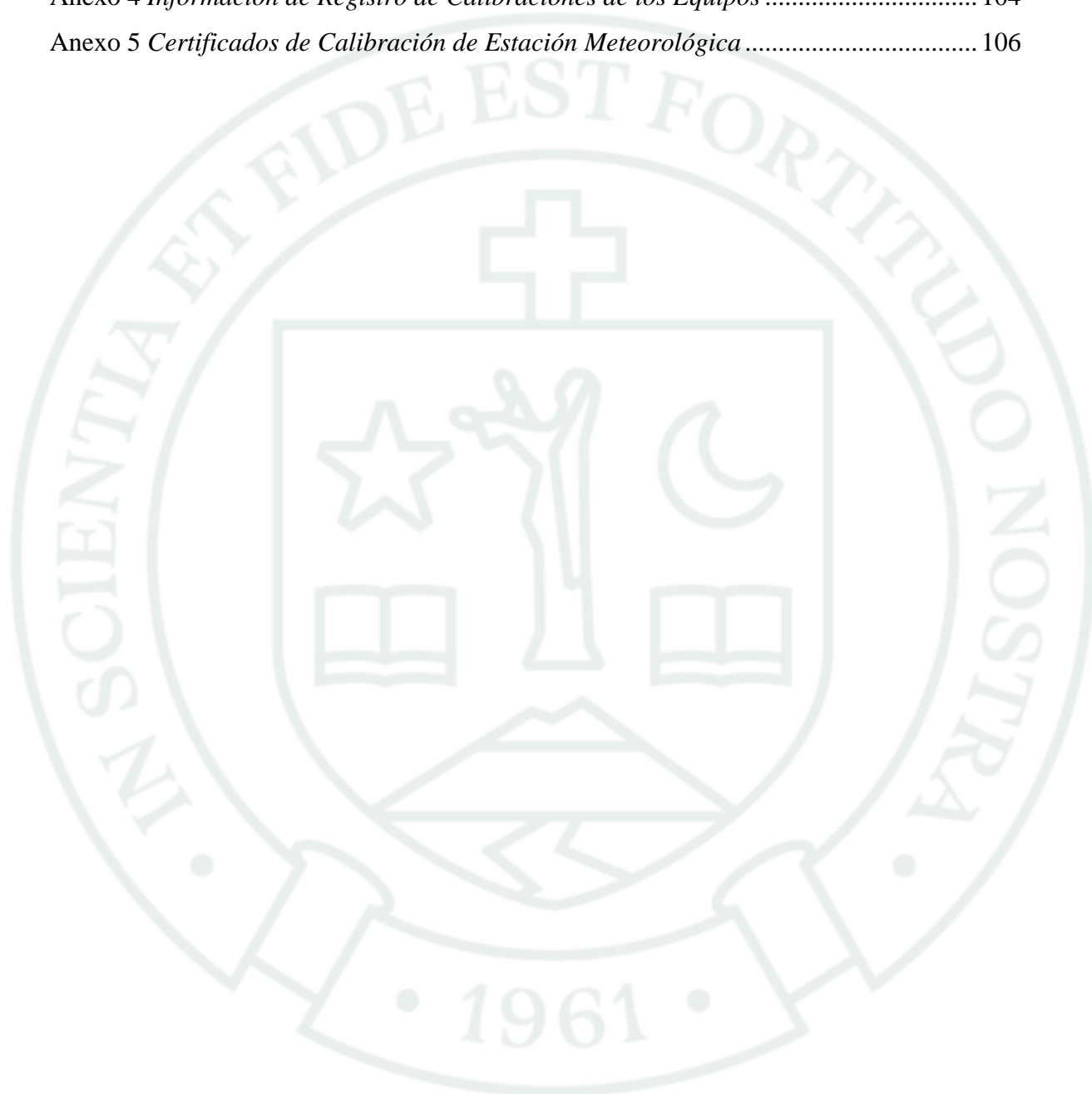
Tabla 1 Valores correspondientes a la Ponderación del (INCA)	30
Tabla 2 Estándar de Calidad Ambiental para Aire	33
Tabla 3 Operacionalización de Variables	37
Tabla 4 Método de Análisis del Aire	42
Tabla 5 Características del Equipo	42
Tabla 6 Índice de Calidad del Aire - INCA	44
Tabla 7 Índice de Calidad del Aire - INCA	45
Tabla 8 Índice de Calidad del Aire para PM10	46
Tabla 9 Índice de Calidad del Aire para PM2.5	46
Tabla 10 Categorías del AQI	48
Tabla 11 Puntos de Interrupción para el AQI	48
Tabla 12 Valores Diarios y Promedio Mensual de PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	53
Tabla 13 Valores Diarios y Promedio Mensual de PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	55
Tabla 14 Valores Diarios y Promedio Mensual de PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	57
Tabla 15 Valores Diarios y Promedio Mensual de PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	59
Tabla 16 Valores Diarios y Promedio Mensual de PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	61
Tabla 17 Valores Diarios y Promedio Mensual de PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	63
Tabla 18 Valores Obtenidos para INCA en Época Lluviosa	64
Tabla 19 Valores Obtenidos para ICA-PE en Época Seca	66
Tabla 20 Valores Obtenidos para INCA – PM10	67
Tabla 21 Valores Obtenidos para INCA - PM2.5	68
Tabla 22 Valores Obtenidos para AQI en Época Lluviosa	69
Tabla 23 Valores Obtenidos para AQI en Época Seca	70
Tabla 24 Valores Obtenidos para AQI	71
Tabla 25 Valores Obtenidos para AQI	72
Tabla 26 Concentración de Material Particulado (PM10) en Relación a los ECA	73
Tabla 27 Concentración de Material Particulado (PM2.5) en Relación a los ECA	75
Tabla 28 Registro de Monitoreo Meteorológico	100
Tabla 29 Cálculo del Índice de Nacional de Calidad del Aire (INCA) para PM10 - PM2.5 ...	101
Tabla 30 Cálculo del (AQI) para PM10	102
Tabla 31 Cálculo del (AQI) para PM2.5	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Dispersión de Contaminantes</i>	19
Figura 2 <i>Comparación de tamaño de las partículas de PM.</i>	23
Figura 3 <i>Perfil vertical de la presión atmosférica</i>	25
Figura 4 <i>Anemómetro de cazoletas</i>	27
Figura 5 <i>Mapa de Ubicación</i>	39
Figura 6 <i>Variación del INCA en Época Lluviosa</i>	65
Figura 7 <i>Variación del INCA en Época Seca</i>	66
Figura 8 <i>Variación del INCA (2023-2024)</i>	67
Figura 9 <i>Variación del INCA (2023-2024)</i>	68
Figura 10 <i>Variación del AQI en Época Lluviosa</i>	69
Figura 11 <i>Variación del AQI en Época Seca</i>	70
Figura 12 <i>Variación del AQI (2023-2024)</i>	71
Figura 13 <i>Variación del AQI (2023-2024)</i>	72
Figura 14 <i>Concentración de Material Particulado (PM10) en Relación a los ECA</i>	74
Figura 15 <i>Concentración de Material Particulado (PM2.5) en Relación a los ECA</i>	75
Figura 16 <i>Variación Mensual de las Concentraciones de PM10 y PM2.5</i>	76
Figura 17 <i>Variación Mensual del INCA para PM10 y PM2.5</i>	77
Figura 18 <i>Variación Mensual del AQI para PM10 y PM2.5</i>	78
Figura 19 <i>Relación entre los índices INCA y AQI para PM10</i>	79
Figura 20 <i>Relación entre los índices INCA y AQI para PM2.5</i>	80
Figura 21 <i>Rosa de Vientos - Época Seca</i>	81
Figura 22 <i>Distribución de Frecuencia de Clases de Viento - Época Seca</i>	81
Figura 23 <i>Rosa de Vientos - Época Lluviosa</i>	82
Figura 24 <i>Distribución de Frecuencia de Clases de Viento - Época Lluviosa</i>	82
Figura 25 <i>Dirección de Origen del Viento</i>	83
Figura 26 <i>Dirección de Desplazamiento del Viento</i>	83
Figura 27 <i>Modelo Promedio Móvil para PM10</i>	84
Figura 28 <i>Modelo Promedio Móvil para PM2.5</i>	85

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 <i>Formato de Monitoreo y Verificación de Condiciones Meteorológicas</i>	100
Anexo 2 <i>Fórmulas de Inca para PM10 y PM2.5</i>	100
Anexo 3 <i>Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM</i>	103
Anexo 4 <i>Información de Registro de Calibraciones de los Equipos</i>	104
Anexo 5 <i>Certificados de Calibración de Estación Meteorológica</i>	106



INTRODUCCIÓN

Los contaminantes del aire hacen de su parte la materia particulada que se describe como una mezcla, tanto de la materia inorgánica como de la materia orgánica, que la puede conformar, cuya ejecución mayormente se presenta de forma sólida, si bien, puede presentar una fracción líquida. Se puede clasificar la materia particulada en virtud del tamaño del diámetro de las partículas que la conforman, siendo estas, las que se denominan PM10, PM2.5, que son las más comunes y que son las que se encuentran reguladas en cada uno de los países.

La Mp se ha relacionado en gran parte con las enfermedades respiratorias, siendo estas las más comunes en la población, además de que paralelamente, contribuye en gran parte a la generación de smog y en la degradación por corrosión de distintas estructuras.

Las serias implicaciones para la salud de la exposición a largo plazo a las partículas en suspensión (PM) son numerosas y diversas (accidente cerebrovascular, enfermedades cardíacas isquémicas, pulmonar obstructiva crónica (EPOC), cáncer de pulmón, infecciones del tracto respiratorio inferior). Hay una serie de enfermedades derivadas de la exposición a largo plazo, y su incidencia puede aumentar significativamente en poblaciones expuestas regularmente a altas concentraciones de partículas en el aire (Omokungbe et al., 2020).

Las fuentes de materia particulada pueden clasificarse como naturales o antropogénicas. Las fuentes naturales incluyen las emisiones de polvo, la resuspensión de partículas del suelo y aerosoles de origen biológico. Por otro lado, las fuentes antropogénicas están relacionadas principalmente con actividades humanas, como la generación de energía a base de combustibles fósiles, la quema de biomasa, las actividades de construcción y las actividades de minería y explotación de recursos (Omokungbe et al., 2020).

El presente estudio tiene por objetivo medir la calidad del aire en el distrito de Socabaya y la concentración de partículas PM10 y PM2.5. Por lo tanto, la evaluación de la concentración de materia particulada en el aire se basará en los datos del período investigado (julio de 2023 a

junio de 2024), que incluye las estaciones secas y de lluvia. Esto se seguirá ya que se calculará el INCA (Índice Nacional de Calidad del Aire); este índice clasifica la calidad del aire en función de la concentración de materia particulada.

Además, los resultados se evaluarán y compararán con los índices de calidad (AQI) de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos para verificar la variabilidad en los resultados entre los dos sistemas de clasificación. Los resultados se compararán y evaluarán en función de la legislación sobre calidad del aire en Perú, los estándares (ECA), y el Decreto Supremo N.º 003-2017-MINAM, que establecen los límites permisibles de las PM10 y PM2.5.

La meta principal de este estudio es desarrollar información que sirva de base para el diseño de futuras estrategias enfocadas en el control y gestión de la calidad del aire a nivel municipal. En este sentido, el diseño de políticas públicas y la gestión en el ámbito de la calidad del aire depende, en gran medida, de la disponibilidad de información fiable sobre las concentraciones de los contaminantes del aire. Sin embargo, es necesario establecer que el gobierno local del distrito de Socabaya, así como otros gobiernos locales, tiene problemas de gestión sobre la contaminación atmosférica, en ausencia de documentación sobre emisiones que sirva para establecer los niveles de control de las fuentes de contaminación y su evaluación en el entorno.

Por las razones expuestas con anterioridad, es la ausencia de información confiable y sistemática que nos limite, cuantitativa y cualitativamente, acerca de los efectos del MP para la elaboración de estrategias y acciones de control, y el resto de la información, para que los gobiernos locales y provinciales puedan implementar, lo que constituye el fundamento principal para la evaluación de la determinación del MP.



CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Problemática de la investigación

La OMS ha declarado que para la salud pública en las Américas, la contaminación del aire representa el mayor riesgo ambiental: aproximadamente uno de cada nueve muertes documentadas a nivel mundial se ha atribuido a enfermedades causadas por la exposición a la contaminación del aire (OMS, 2016). Entre los diversos contaminantes del aire, la mayor preocupación es causada por las partículas en suspensión, específicamente PM10 y PM2.5, que son menores de 10 y 2.5 micrómetros de diámetro aerodinámico, respectivamente.

Debido a su tamaño, estas partículas pueden penetrar profundamente en el sistema respiratorio, alcanzando las partes más internas de los pulmones. Como resultado, pueden desencadenar procesos inflamatorios y reacciones en las células del sistema de defensa pulmonar, aumentando el riesgo de desarrollar diversas condiciones respiratorias y cardiovasculares. La presencia de estas partículas en la atmósfera se debe en gran medida a la combustión de combustibles fósiles, aunque su composición química puede variar dependiendo de las fuentes de emisiones predominantes.

Personas con enfermedades ya existentes, niños menores de cinco años, así como adultos con edades de 50 a 75 años, entre otros, son más susceptibles a los riesgos de los contaminantes del aire, por lo que los efectos de la contaminación del aire no son igualitarios.

La contaminación del aire puede afectar la salud de una persona de diferentes formas y en diferentes lapsos de tiempo. Es cierto que puede ocasionar problemas de salud en un corto tiempo, como en cuestión de días o semanas, pero también puede ocasionar problemas de salud como resultado de la exposición a la contaminación del aire en un período de meses o años. Sin embargo, los efectos más graves por exposición a la contaminación del aire son el resultado de exposición por un tiempo prolongado, o por lo que se le considera exposición crónica. Para el caso de la contaminación del aire y la muerte de las personas, la mayor parte de las muertes son

por enfermedades que no son contagiosas. La contaminación del aire es responsable del 36 % de las muertes por cáncer de pulmón, 35 % de las muertes por EPOC, 34 % de los accidentes cerebrovasculares, y 27 % de las enfermedades del corazón.

Sin embargo, uno de los efectos más alarmantes se da en la mortalidad infantil. Diversos estudios indican que más de la mitad de los decesos de niños menores de cinco años por infecciones respiratorias agudas de las vías inferiores están relacionadas a la exposición de los niños menores de cinco años a las partículas contaminantes producidas por la utilización de combustibles sólidos en la vivienda (Balakrishnan et al., 2014).

Su tamaño está relacionado con problemas de salud que pueden causar. Las partículas que tienen menos de 10 micrómetros de diámetro son las que causan los mayores problemas porque pueden llegar a los pulmones, y algunas pueden llegar a la sangre.

Estas partículas pueden causar problemas en las personas que tienen problemas respiratorios, así como problemas en el corazón. Exponerse a la contaminación, tiene múltiples y graves problemas. Esto se ha estudiado y se ha relacionado con el infarto y la muerte de personas con problemas de salud. Pueden ocurrir episodios de infartos. También pueden ocurrir problemas de salud, y ser la causa de que una persona tenga asma, o que normalmente respire, y en su caso esto rara vez se presente, y pueda, y se le presente tos, y tenga problemas respiratorios. La OMS nos dice que la contaminación en las ciudades se lleva la vida de 4.2 millones de personas en el mundo cada año (OMS, 2018).

La contaminación de las calles, explican Luna et al. (2017) también provoca incremento de las enfermedades respiratorias. Para la OMS, la contaminación que hay en el aire es uno de los problemas con el riesgo más alto para la salud de la población, sin importar si la zona es rica o pobre. Para que la salud de las personas no se vea en peligro, la calidad del aire debe ser buena, lo que muchas veces no se puede lograr. Esto se debe a varios factores que se relacionan

con el desarrollo de la sociedad, como la quema de combustibles, la rápida construcción de nuevos edificios, y hasta la descomposición de los materiales.

El Estado peruano, a través de D.S. n.º 074-2001-PCM y D.S. n.º 003-2008-MINAM (2008) “Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Aire”, han establecido los Estándares de Calidad Ambiental para Aire en el Perú.

A partir de lo que ya se ha dicho, el problema de la calidad del aire en el distrito de Socabaya, sin duda, es una preocupación constante de los pobladores del distrito. En ese sentido, llevar a cabo los estudios correspondientes que permitan evaluar la calidad del aire que se respira es de suma importancia, no solo para determinar planes de alerta temprana para el resguardo de la salud, sino que, mediante un plan distrital, se puedan definir los lineamientos y estrategias de corto plazo para que se logre el estándar de calidad del aire.

1.2. Justificación de la Investigación

Investigaciones recientes están poniendo mayor énfasis más que, en la determinación de elementos nocivos que alteran la calidad del aire, sino también, se está tratando de buscar alternativas tecnológicas que permitan reducir significativamente las emisiones altamente tóxicas que alteran significativamente la calidad del aire. En esa perspectiva el presente proyecto de tesis busca mediante, suministrar la correspondiente información a las autoridades a fin de que puedan implementar un plan de acción para el mejoramiento de la calidad del aire en el Distrito Socabaya.

1.2.1. Social

Mediante el presente trabajo de tesis, la población del Distrito de Socabaya tendrá conocimiento en base a datos técnicos objetivos la correspondiente calidad de aire respirable que tienen en su respectivo ecosistema, así mismo servirá como iniciativa para que las autoridades Distritales, Provinciales y Regionales, implementen dicho sistema de evaluación, a fin de que los ciudadanos en su conjunto sepan con meridiana claridad si el aire que se respira

es buena mala o regular, evitando así confundir a la población con opiniones que se sustentan en simples suposiciones o subjetividades que por lo general generan conflictos innecesarios.

1.2.2. Económica

A partir de esta tesis, poder construir una línea base para establecer precedentes para futuras investigaciones en toda la región, que podrán sostener los niveles de desarrollo económico del distrito de Socabaya y de la región en su conjunto, al mismo tiempo que se proporciona equilibrio entre el medio ambiente y las personas.

1.2.3. Ambiental

La presente investigación, no solo, brindara información acerca de la calidad de aire el ecosistema del distrito de Socabaya, sino también suministrara información técnica para que las autoridades competentes de acuerdo a los resultados obtenidos establezcan planes que permitan mejorar la calidad de aire con la finalidad no solo de brindar data valedera sobre la calidad de aire, sino también con la protección ambiental y de esa manera reforzar el campo de investigación “Gestión de la Calidad de Aire”

1.2.4. Institucional

Las instituciones utilizarán esta investigación para una evaluación técnica de las políticas y programas gubernamentales municipales y regionales. El estudio generará la información necesaria para un proceso de toma de decisiones responsable desde el punto de vista ambiental sobre cómo mejorar las estrategias preventivas y reducir la contaminación del aire.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Evaluación de la calidad del aire del distrito de Socabaya del municipio para los años 2023–2024 mediante el análisis de las concentraciones de partículas PM10 y PM2.5 del ecosistema.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Evaluar la calidad del aire del distrito de Socabaya analizando concentraciones diarias y mensuales de PM10 y PM2.5 y sus niveles correspondientes
- Establecer el índice de calidad del aire basado en el Índice Nacional de Calidad del Aire (INCA) y el Índice de Calidad del Aire (AQI) de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) de acuerdo con las concentraciones registradas de PM10 y PM2.5 en el distrito de Socabaya.
- Analizar el cumplimiento de las concentraciones de PM10 y PM2.5 del distrito Socabaya con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el aire establecidos en el Decreto Supremo N.º 003-2017-MINAM.



CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTO TEORICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Cisneros (2019) estudió la contaminación ambiental por el uso de fuegos artificiales y las relaciones con las concentraciones de material particulado en el distrito de Santa Anita durante las fiestas de Navidad y Año Nuevo. El monitoreo utilizó una estación fija equipada con un colector de polvo oscilante TEOM 1405 para PM10 y el método de atenuación beta para PM2.5. Los resultados mostraron que durante los eventos festivos, las concentraciones de ambos contaminantes superaron los Estándares (ECA), demostrando así un impacto negativo en el aire durante el período.

También Suasnabar (2023) estudió cómo las festividades de Año Nuevo afectan la calidad del aire en la zona de Lima Metropolitana para el periodo 2013-2021. Para esto, se analizaron las bases de datos de las estaciones de monitoreo que posee el SENAMHI. Se encontró que, en algunos años, en especial el 2016 y 2017, las concentraciones de materiales particulados alcanzaron su máximo, evidenciándose picos de contaminación entre la noche y la madrugada del día siguiente.

Warthon y cols. (2024) estudiaron la contaminación y la distribución de la contaminación en la ciudad de Cusco por material particulado PM2.5. Para esto, utilizaron los criterios establecidos por la EPA de EE. UU. Los resultados evidenciaron que más del 84% de los sitios muestreados fueron clasificados como de pobre calidad en la salud del aire, lo que evidenció la crítica realidad de la calidad del aire en la ciudad.

Del mismo modo, Calampa (2015) realizó la evaluación de la contaminación del aire, en relación a la concentración de partículas menores de 10 micrones (PM10) del aire en las vías urbanas de la ciudad de Tarapoto.

Para el análisis, se instalaron dos estaciones de monitoreo, y el muestreo y procesamiento de resultados se llevaron a cabo de acuerdo con la metodología propuesta por la

Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA). Se registró de 33.99 y 37.88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, que no superaron el ECAy el Índice Nacional (INCA) indicó que la calidad del aire era 'Buena'.

Al igual que otros autores mencionados, Sánchez et al. (2022) analizó el nivel de material particulado PM10 y PM2.5 y su relación con factores asociados con actividades humanas en tres diferentes áreas de la provincia de Coronel Portillo, en la región Ucayali. Como resultado, se evidencian incrementos significativos en la concentración de material particulado en los períodos de mayor afluencia de personas. En las zonas evaluadas, se registraron las siguientes concentraciones de PM10: 126.99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 220.08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 136.79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, las cuales evidencian sobrepasar los límites de los Estándares de Calidad Ambiental para aire.

Custodio (2018) estudió los impactos ambientales de la concentración de material particulado PM2.5 y de dióxido de azufre incorporadas en las 9 estaciones de monitoreo para definir su alcance. El estudio se realizó con la cooperación de la Municipalidad Provincial del Santa. De los resultados se observan concentraciones de PM2.5 que fluctúan entre 25.1 y 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y que son consideradas desfavorables. También se encontró 28.71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de dióxido de azufre, por lo que se concluye que ambos contaminantes inciden en la disminución del nivel de pureza del aire.

Flores (2019) estudió la evolución de las concentraciones de PM10 y PM2.5 y su relación con la mortalidad en el distrito de Villa María del Triunfo en los años 2014-2017. El estudio mostró que el alto tráfico y la presencia de actividades industriales contribuyen al incremento progresivo de material particulado creando concentraciones que sobrepasan los Estándares de Calidad Ambiental establecidos para promedios agudos diarios y anuales.

En otro estudio, Córdova (2019) evaluó la calidad de aire del flujo vehicular en las áreas de Pariachi y Huaycán. Los resultados del análisis registraron concentraciones de 4941 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para monóxido de carbono y 12.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para dióxido de azufre en los meses de octubre y noviembre. Estos valores fueron categorizados como Buena en la metodología aplicada.

Dalens et al. (2022) evaluaron a partir de las emisiones de PM10, PM2.5 y monóxido de carbono debido a las actividades de una fábrica de ladrillos en la ciudad de Cusco. Con este fin, se realizaron mediciones durante los meses de mayo y junio. Los resultados mostraron que la concentración de PM10 superó los Estándares INCA, especialmente en la segunda medición. En mayo, se registraron valores de PM10 de 85.4 y 32.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que en junio las concentraciones aumentaron a 115.4 y 57.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Con base en estos resultados, fue clasificada moderada.

Ahuanari y Mozombite (2019) evaluaron el nivel de contaminación atmosférica causado por actividades de construcción en áreas urbanas, específicamente la presencia de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono, ozono y material particulado tanto PM10 y PM2.5. En cuanto a los resultados principales, se registró concentración PM2.5 de 104.30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, que excede los valores del ECA. Además, se encontraron niveles de 12208.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para CO, dióxido de nitrógeno de 274.20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y dióxido de azufre de 319.74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Alvarado (2019) analizó la calidad del aire en las empresas Rey León S.A.C. y Santa Clara, centrándose en la emisión de material particulado. Los resultados mostraron que en Rey León se registraron concentraciones de PM10 de 3494.61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y PM2.5 de 418.21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, excediendo los niveles establecidos por la normativa ambiental. En contraste, la empresa Santa Clara registró concentraciones sustancialmente más bajas, con valores de PM10 de 3.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y PM2.5 de 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Se concluye que en el molino Rey León, los niveles de materia particulada sobrepasan la norma peruana establecida.

La investigación de Dextre (2016) se enfocó en la conexión de los niveles de PM2.5 y sus variables con la meteorología en San Juan de Lurigancho. Para tal fin, se instaló una estación meteorológica automática junto con un medidor de atenuación beta 5014i para la captura de PM2.5. El cual tuvo lugar durante 30 días en el mes de mayo de 2016, donde se evidenció un valor máximo de 60.40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y un valor mínimo de 31.46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lo cual, sin

duda, evidenció un impacto negativo en la salud de los pobladores tanto a mediano como a largo plazo.

Cueva (2021) realizó un estudio que tuvo como principal objetivo analizar la calidad del aire en los poblados del valle del Colca, como consecuencia de la emisión de cenizas y gases volcánicos del volcán Sabancaya. El monitoreo en los poblados se realizó por medio de las estaciones Achoma AIR-01 y Maca AIR-02. En los poblados, la concentración de PM10 fueron de 13.40 y 15.58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y para PM2.5 8.92 y 2.42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. De la clasificación que otorgan los índices, estos resultados obtenidos fueron clasificados en el nivel bueno, lo que significa que, para la población, no representa ningún riesgo.

Alfaro (2020) analizó los efectos generados por la quema de caña de azúcar en la calidad del aire en el distrito de Casa Grande. El estudio involucró la medición de contaminantes del aire como PM10, PM2.5, CO y SO₂ a través de 15 días de monitoreo en tres puntos estratégicos. Los resultados indicaron que las concentraciones no superaron los ECA, pero sí excedieron los valores guía fijados por la Organización Mundial de la Salud para PM10, PM2.5 y SO₂.

Montoya y Taco (2025) estudiaron la calidad del aire en áreas influenciadas por la industrialización en los distritos de Callería, Yarinacocha y Manantay. Investigaron un monitoreo de 5 días utilizando equipo Hi-Vol el cual se encargara de medir los parámetros de PM10 y PM2.5. Los datos obtenidos mostraron concentraciones de PM10 de 65, 79.7 y 70.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y PM2.5 de 20.6, 30.6 y 28.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en las áreas evaluadas. Los valores del INCA se encontraban en la categoría buena, sin embargo, los autores sugirieron continuar con Programas de Monitoreo Ambiental.

Por último, Acuña y Esquivel (2022) evaluaron el estado del aire en varias áreas de la Universidad Nacional de Trujillo, con el objetivo de caracterizar las concentraciones de material particulado y correlacionarlas con posibles riesgos para la salud. El monitoreo se realizó en cuatro estaciones en diferentes facultades del campus universitario. Los resultados

mostraron el rango de clasificación del INCA entre 80.4 y 100, categorizándolos en el rango moderado.

2.2. Marco teórico

2.2.1. El aire

Desde World Health Organization (WHO, 2021) el aire es un recurso natural importante y también es un bien común como recurso limitado. Debido a la importancia del aire para la supervivencia de los seres vivos, su uso debe ser regulado por leyes y medidas que prevengan su deterioro y eviten prácticas que afecten negativamente su calidad. Mantener el aire limpio es fundamental para garantizar el equilibrio del medio ambiente, el adecuado desarrollo de los ecosistemas y la protección del patrimonio natural y cultural de la humanidad.

Así, toda la sociedad en su conjunto tiene el deber de emprender iniciativas destinadas a proteger el medio ambiente y construir un entorno saludable y sostenible. Limpiar el aire es una tarea comunitaria como un esfuerzo colectivo en el presente y en el futuro mientras se mantiene seguro y habitable (INAGEP, 2020).

2.2.1.1. Composición del aire

Swisscontact (2004) indica que los principales componentes de la atmósfera terrestre son gases que consisten principalmente en nitrógeno y oxígeno. Estos elementos representan aproximadamente el 78,08 % y el 20,95 % del volumen total de aire. Existen otros gases como el argón y otros componentes en cantidades aún más pequeñas.

Señala que, para que el aire mantenga las sustancias en el equilibrio natural del aire, los gases deben estar en equilibrio. Si se incorporan sustancias en cantidades superiores a lo normal, provoca una alteración en el equilibrio y genera contaminación del aire, donde los principales contaminantes del aire son el O₃, SO_x, NO_x, CO y las partículas en suspensión (PM). Cuando las sustancias mencionadas anteriormente superan los estándares permitidos, son perjudiciales tanto para el medio ambiente como para la humanidad.

2.2.2. La contaminación atmosférica

La contaminación, en términos de Prieto (2016), es una alteración en la composición y características naturales del aire, principalmente debido a la presencia de diferentes contaminantes. La contaminación se produce por la mezcla de varios compuestos químicos que están en el aire, en forma de gases y partículas. Estas se combinan con diferentes formas de energía que se convierten en contaminantes, como ciertas radiaciones que se producen por contaminación electromagnética, la contaminación lumínica, y además ondas que producen vibraciones y causan contaminación del sonido. Todos estos factores contribuyen a la contaminación del aire y desbalancean el ecosistema.

La contaminación se produce cuando en la atmósfera se encuentran determinadas sustancias en concentraciones que, según la OMS, produciendo efectos adversos a la salud de las personas, de los animales, de la flora, e incluso del suelo. El aire contaminado también puede causar daños a las personas e impactar de forma negativa en la conservación de los recursos y bienes materiales (OMS, 2021).

2.2.3. Contaminantes del Aire

Como señala Vallero (2014), los contaminantes atmosféricos incluyen tanto sustancias químicas como diversas formas de energía que, cuando están presentes en ciertas concentraciones en la atmósfera, pueden tener efectos dañinos en los organismos vivos y el medio natural. Además de impactar la salud humana, los contaminantes pueden desestabilizar el equilibrio de los ecosistemas y degradar estructuras y bienes materiales, e incluso impactar procesos climáticos.

Un aspecto importante del comportamiento que destaca el autor sobre los contaminantes en la atmósfera es su tiempo de residencia, también conocido como vida atmosférica. Esto se refiere al tiempo que un contaminante permanece en la atmósfera en su forma inalterada y en

sus diversas formas de procesos químicos, como participante en varios procesos y reacciones químicas.

Para Prieto (2016) este tiempo puede variar mucho, dependiendo de las características físicas y químicas del contaminante y de las condiciones atmosféricas existentes que el autor menciona de la siguiente manera:

a) Contaminantes primarios

Los contaminantes primarios provienen de fuentes directas que son claramente identificables para los contaminantes que se liberan. Las diferentes fuentes proporcionan a los contaminantes composiciones químicas y características físicas variables.

b) Contaminantes secundarios

Son aquellas sustancias que surgen a partir de las transformaciones químicas de contaminantes primarios cuando interactúan entre sí o se presenta una reacción con otros elementos en el aire. A diferencia de los contaminantes primarios, estas sustancias no se emiten directamente de una fuente específica, sino que se forman por procesos fisicoquímicos que ocurren en la atmósfera. Por lo tanto, su presencia es el resultado de reacciones químicas entre diferentes componentes atmosféricos que han sido liberados al medio ambiente. Los más relevantes son el trióxido de azufre (SO_3), los radicales de amina (NH_2), el sulfato (SO_4) y el ácido nítrico (HNO_3), el ozono troposférico (O_3) y los nitratos de peroxiacetilo (PAN), que impactan en la salud humana y la atmósfera

2.2.4. Fuentes de contaminación

Desde Jacobson (2012) pueden clasificarse, dependiendo de su origen, como naturales y artificiales o como naturales y antrópicas, dependiendo de si los contaminantes son generados por procesos característicos de la naturaleza o por actividad humana, que de acuerdo al autor son:

a) Naturales:

Las fuentes naturales incluyen las diversas emisiones contaminantes que resultan de procesos que ocurren en los sistemas naturales del planeta, como la geosfera, biosfera, atmósfera e hidrosfera. Las principales fuentes naturales incluyen:

- Erupciones volcánicas: Estos son uno de los eventos naturales que más inciden en la contaminación atmosférica, ya que liberan grandes cantidades de compuestos de azufre, así como numerosas partículas que pueden ser dispersadas a grandes distancias por la acción del viento.
- Incendios forestales naturales: Estos eventos también producen grandes emisiones de humo, cenizas y partículas suspendidas, degradando la calidad del aire en amplias áreas.
- Procesos de los seres vivos. Algunas actividades biológicas pueden cambiar el ambiente. Aumenten las concentraciones de CO₂ en la atmósfera. La reproducción de anemocoras como gramíneas, olivos y arizónicas, se liberan pólenes y esporas. Estas pueden concentrarse en el aire y provocar reacciones alérgicas. Fumar y contraer pólipos son algunas de las afecciones que les genera la ciudad. También, la división de materia orgánica puede generar emisiones de metano (CH₄).
- Derrubios intensos o vendavales. Estos fenómenos de la atmósfera pueden transportar enormes cantidades de polvo y partículas de zonas áridas que sean dispersadas a otras regiones.

b) Artificiales:

Las fuentes artificiales comienzan directamente de la actividad humana, responsables de una parte significativa de la contaminación atmosférica. La mayoría de estas emisiones están asociadas a diversas actividades con la quema de combustibles fósiles y se consideran uno de los principales contribuyentes al deterioro de la calidad del aire.

Entre las principales actividades humanas que causan contaminación atmosférica están:

- Actividades domésticas: en casa, el uso de sistemas de calefacción y otros dispositivos que utilizan combustibles fósiles (carbón, gas natural, gasóleo o gas) para generar calor puede, y de hecho, crean emisiones contaminantes. El nivel de contaminación genera dependerá del tipo de combustible utilizado, así como de la eficiencia y mantenimiento de la unidad de calefacción. Por ejemplo, el carbón tiende a generar mucha más contaminación que el gas.
- Transporte: los vehículos de motor y el transporte aéreo son importantes fuentes de contaminación atmosférica. En comparación, otras formas de transporte, como ferrocarriles y transporte marítimo, son mucho menos contaminantes, en parte debido a la menor proximidad de estos sistemas a áreas pobladas.
- En la industria, La contaminación ambiental por la actividad industrial depende de cada tipo de proceso productivo. Las industrias que más contaminan son las centrales termoeléctricas, las plantas cementeras, la siderurgia, las fábricas de papel y las industrias químicas, ya que por sus procesos de producción son grandes emisores.
- La quema de residuos también contamina, ya que el proceso de combustión de los residuos sólidos libera diferentes gases y partículas que afectan la calidad del aire.

2.2.5. Dispersión de contaminantes en el aire

Bajo la perspectiva de Arya (1999) es un proceso en el cual los contaminantes presentes en la atmosfera se propagan y se debe a una serie de elementos que intervienen este proceso como se observa en la siguiente figura.

Figura 1
Dispersión de Contaminantes



Nota. Adaptado de C. Orozco

El primer proceso es la liberación de contaminantes. En este caso, el nivel de liberación puede variar en función de la fuente emisora y de las características específicas de la actividad que desencadena dicha liberación. En contraste, el proceso de transporte de contaminantes atmosféricos varía o depende, en primer lugar, de los parámetros meteorológicos y de la disposición del terreno, que contribuyen a la distribución, transporte y, en última instancia, a la dilución de los contaminantes en la atmósfera.

2.2.5.1. Emisión

De acuerdo con Prieto (2016) se refiere a la cantidad de contaminantes liberados de una fuente determinada a la atmósfera durante un período de tiempo específico. Estas emisiones se miden en el punto de descarga, o la fuente de la emisión.

Indica que, ocurre una serie de procesos físicos y químicos lo que incluye el transporte por viento, la difusión, la mezcla con otros constituyentes de la atmósfera, o incluso la acumulación en ciertas áreas. Estos procesos actúan juntos para determinar la condición de los contaminantes en la atmósfera. A estos procesos combinados se les denomina mecanismos de dispersión y sumidero. En términos simples, estos procesos determinan el destino de los contaminantes en la atmósfera; la intensidad de estos procesos depende en gran medida de las

variables meteorológicas. Factores como la velocidad del viento, la temperatura y la estabilidad son influencia directa de la capacidad de dispersión del aire.

2.2.5.2. Inmisión

Se trata de la presencia y concentración de contaminantes que como explica Prieto (2016) en un área determinada de la atmósfera después de haber sido transportados, dispersados y mezclados con el aire circundante. En otras palabras, los niveles de inmisión indican la concentración de contaminantes que han sido retenidos en el medio ambiente al que los diversos receptores están en riesgo de exposición.

Sostiene que estos receptores pueden incluir otros humanos, animales, plantas, materiales y ecosistemas que pueden verse afectados cuando la concentración de contaminantes supera ciertos niveles; cuando los valores de inmisión alcanzan niveles altos que pueden ser dañinos, como una amenaza para la salud de los organismos vivos y altera el equilibrio del entorno natural.

2.2.6. Material Particulado

La EPA enumera las partículas (PM) como uno de los contaminantes del aire más importantes en los estudios de calidad del aire. Se refiere a una mezcla compleja y heterogénea de diminutas gotas que están dispersas en la atmósfera. Algunas de estas partículas, como el polvo y el hollín, pueden ser visibles a simple vista en altas concentraciones. Sin embargo, una gran proporción de PM está compuesta por partículas tan pequeñas que solo se visualiza por instrumentos especializados, como un microscopio electrónico. Debido a su tamaño, composición química y concentración, el material particulado es una métrica importante para determinar la calidad del aire. La composición y estructura del material particulado determinan el impacto potencial en la salud y el ecosistema, y la capacidad de ser atrapado en el sistema respiratorio humano (Seinfeld & Pandis, 2016).

2.2.6.1. Clasificación del material particulado

Bajo la mención de Vallero (2014) la Agencia de Protección Ambiental (EPA) se encarga de clasificar las partículas por su tamaño aerodinámico porque influye en su tiempo de suspensión, transporte e impacto en la salud de la población y del medio ambiente:

- a) **PM10:** Son partículas inhalables, tienen un diámetro de menos o igual a 10 micrómetros, y sus composiciones incluyen partículas sólidas y líquidas suspendidas que se forman tanto a partir de procesos naturales como de actividades antropogénicas de fuentes puntuales o difusas.

El tiempo que estas partículas permanecen suspendidas en la atmósfera se determina principalmente por su dimensión, por otro lado las partículas con una menor proporción permanecerán suspendidas durante períodos de tiempo más largos, lo que ayuda a aumentar el potencial de dispersión y efectos adversos a la calidad del aire ambiente (Canales et al., 2014).

Con respecto a su comportamiento atmosférico, Hernández et al. (2018) desarrollaron un estudio dirigido a determinar de forma aproximada los niveles de inmisión de PM10 originados por fuentes estacionarias, particularmente por actividades relacionadas con la producción de ladrillos. Para este propósito, utilizaron variables meteorológicas y climatológicas obtenidas de estaciones meteorológicas de la Universidad de San Gil (UNISANGIL) y el modelo de dispersión Screen View 3, que permitió establecer la extensión de los isoplanos de inmisión y estudiar la dispersión del contaminante en el área de estudio.

- b) **PM2.5:** Son fracciones aún más finas de partículas presentes en el aire, con un diámetro aerodinámico de menos de 2.5 micrómetros. Estas son generadas principalmente por medio de los procesos de combustión, especialmente de las emisiones de vehículos y, en menor medida, de instalaciones industriales que generan energía.

Debido a su pequeño tamaño, estas partículas comúnmente permanecen en suspensión en la atmósfera por amplios períodos de tiempo y ser transportadas a grandes distancias por corrientes de aire. En este sentido, Wen et al. (2022) afirman que las concentraciones de PM2.5 están fuertemente influenciadas por las condiciones meteorológicas, ya que los sistemas atmosféricos pueden favorecer su transporte regional e incluso transfronterizo.

Sobre su distribución espacial, Aldegunde et al. (2022) realizaron una investigación centrada en representar el patrón de distribución de PM2.5 en la ciudad de Cartagena, integrando los elementos meteorológicos con valores porcentuales imprescindibles. Utilizando técnicas de análisis geoestadístico, los autores demostraron el potencial de los mapas de alta resolución para analizar la distribución espacial del material particulado y evaluar su posible impacto en las personas.

Liu et al. (2017) analizaron diferentes conjuntos de datos espaciotemporales de PM2.5 en Pekín durante el año 2014. Al observar los datos de todo el año en el conjunto de datos de Pekín 2014, el material particulado mostró una variación estacional notable en los niveles, alcanzando picos en los meses de invierno y primavera, en comparación con el otoño y el verano, que mostraron niveles y picos mucho más bajos.

Wang et al. (2019) llevaron a cabo un estudio regional a largo plazo en una ciudad en la cual utilizaron datos de 102 estaciones. Informaron que en 2017, la concentración media anual de PM2.5 en el área de estudio fue de $64.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y confirmaron que la concentración de este contaminante fue más alta en invierno y en las temporadas de caída de verano y más baja en invierno en comparación con el verano.

Figura 2

Comparación de tamaño de las partículas de PM.



Nota. USEPA

2.2.6.2. Composición y origen del PM

Se trata de una mezcla de partículas primarias y secundarias, sin importar el tamaño de estas partículas. Las partículas primarias son aquellas liberadas por la atmósfera en su forma original. Estas pueden provenir de fuentes naturales o de actividades antropogénicas.

Por otro lado, su formación en la atmósfera se debe a reacciones químicas que involucran varios compuestos gaseosos que también pueden ser de origen natural o resultado de actividades humanas. Entre los constituyentes que participan en estos procesos se encuentran los sulfatos, nitratos, sales inorgánicas de amonio y varios hidrocarburos.

La composición química, el tamaño y la concentración de las partículas en la atmósfera pueden variar significativamente. Estas partículas están compuestas por una variedad de elementos químicos, compuestos inorgánicos y material orgánico cuya preservación podría ser determinada por técnicas analíticas altamente sensibles (Puerto y García, 1984).

2.2.6.3. Tamaño del MP

El tamaño de las partículas que componen el material particulado exhibe una gran variabilidad, en un rango de aproximadamente 0.0002 μm (micrómetros) — el equivalente a una milésima de milímetro — hasta unos 5000 μm. Esta variación está principalmente

influenciada por la fuente que da origen a las partículas, ya que diferentes procesos producen partículas con diferentes características físicas. Una vez en la atmósfera, las partículas más pequeñas pueden unirse para formar agregados más grandes en un proceso llamado coagulación. Sin embargo, las partículas mayores de 10 μm se depositan muy rápidamente debido a la fuerza de la gravedad. Debido a los procesos combinados de coagulación y sedimentación, el rango de tamaño más común de las partículas que componen la atmósfera está entre 0,1 μm y 10 μm . Además, la concentración de estas partículas en la atmósfera puede variar significativamente dependiendo de la ubicación de la medición (Puerto & García, 1984).

2.2.7. Meteorología

El estudio del clima para Ahrens (2012) es una disciplina científica que se centra en el estudio de la atmósfera terrestre y las características y fenómenos que se desarrollan en ella. El estudio del clima captura diferentes procesos en la atmósfera al estudiar y evaluar las variables climáticas fundamentales que incluyen temperatura, presión del aire y humedad. Estas variables no permanecen constantes, varían tanto en el espacio como en el tiempo, y esto permite comprender el comportamiento de la atmósfera y los fenómenos asociados con ella, como el cambio climático o los procesos de dispersión de contaminantes (FECYT, 2004).

2.2.8. Elementos meteorológicos

2.2.8.1. Temperatura

Desde el concepto de Wallace y Hobbs (2006) es una magnitud física que se relaciona con el grado de movimiento o agitación de las partículas que constituyen la materia. Cuanto mayor es la velocidad de movimiento de las partículas, mayor es el valor de la temperatura. La temperatura del aire cambia a lo largo del día, cambia de día a día, cambia por estaciones, y cambia por donde estamos ubicados en el mundo. En invierno, para algunas regiones, la temperatura empieza a disminuir por debajo de cero. En verano, en algunas regiones, la temperatura puede ser hasta 40 grados. Para medir la temperatura, se utilizan termómetros. Se

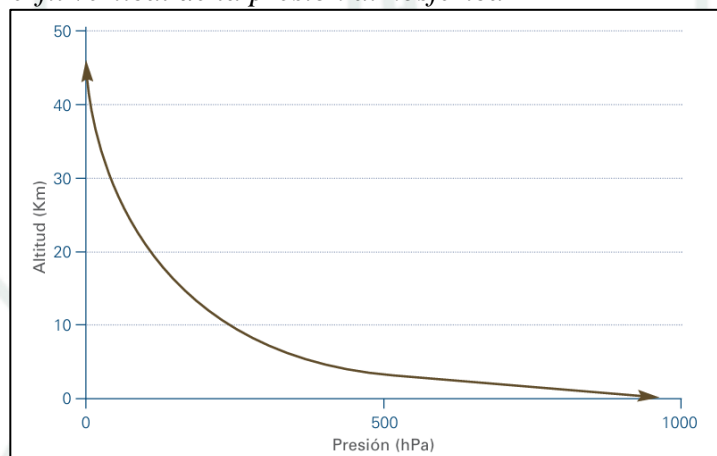
le atribuye la invención del termómetro a Galileo Galilei en 1593. Esto ayudó a seguir por dónde la ciencia iba y la ciencia comenzaba a abordar el estudio de los fenómenos de la atmósfera (FECYT 2004).

2.2.8.2. Presión atmosférica

Canales et al. (2014), sostiene que la presión atmosférica cambia dependiendo de varios factores. Uno muy importante es la altitud, a mayor altura, hay menos aire en los objetos. Esto crea un aire encima de los objetos, y la presión que se crea porque hay aire es menor.

A continuación, se muestran en figura los valores promedio de la presión atmosférica en función de la altitud. Se observa que la presión se va disminuyendo progresivamente a medida que aumenta la altitud. Este comportamiento sigue un patrón de descenso que se asemeja a una relación exponencial. Esto se debe a la forma en que la densidad del aire va disminuyendo en los niveles superiores de la atmósfera.

Figura 3
Perfil vertical de la presión atmosférica



Nota. Adaptado de FECYT, 2004.

La presión atmosférica no solo está influenciada por la altitud, sino también por otros factores como la ubicación geográfica, temperatura, humedad y las condiciones meteorológicas. De hecho, la relación entre la presión atmosférica y el clima en una región la convierte en un factor clave en los informes meteorológicos. Para comparar las mediciones de

presión de diferentes lugares del mundo y sacar conclusiones sobre las condiciones atmosféricas, es necesario ajustar los datos, al menos en función de la altitud. (FECYT, 2004)

2.2.8.3. Viento

El viento para Arya (1999) se puede definir como el aire que se mueve de una ubicación en la atmósfera a otra ubicación. La causa puede ser varias cosas diferentes, pero en su mayor parte, es debido a desequilibrios en la presión atmosférica o diferencias de temperatura en dos de las ubicaciones. En la mecánica atmosférica, la relación entre la presión y el viento es evidente porque los desequilibrios de presión siempre hacen que el aire se mueva. Otras cosas pueden causar viento, pero los diferenciales de presión siempre hacen que el aire se mueva. Debido a esta relación, los mapas isobáricos, o mapas que muestran la distribución de la presión atmosférica, se pueden utilizar para mostrar la dirección y velocidad del viento. Los meteorólogos han diseñado herramientas específicas para medir estas cosas con el fin de entender y predecir el comportamiento del viento.

- a) **Medición de la velocidad del viento:** La herramienta más común utilizada para determinar la velocidad del viento es el anemómetro de copas (figura 4). Este dispositivo funciona con un conjunto de pequeñas copas que giran alrededor de un eje vertical debido a la acción del viento. Cuanto más rápido giran las copas, más fuerte es la velocidad del viento. A partir de este movimiento, se mide la velocidad del viento, y generalmente los datos que nos muestra se da en km/h o m/s.
- b) **Medición de la dirección del viento:** Se determina utilizando veletas (figura 4). Estos instrumentos determinan la dirección geográfica de donde origina el viento al indicar los puntos cardinales como Norte, Noreste, Suroeste, etc. Esta información es muy importante para estudiar los patrones de circulación atmosférica, así como los procesos de transporte y dispersión de contaminantes en la atmósfera (FECYT, 2004)

Figura 4
Anemómetro de cazoletas



Nota. (FECYT, 2004)

2.2.8.4. Humedad

Consiste en una cantidad de vapor de agua presente en la atmósfera variando según diversos factores ambientales, incluyendo las condiciones climáticas recientes, como la lluvia, la proximidad de cuerpos de agua o del mar, y la presencia de vegetación en la zona. Estas condiciones influyen directamente en el nivel de vapor que puede estar suspendido en el aire. Para determinar su cantidad en el aire, se utiliza un psicrómetro (FECYT, 2004).

2.2.8.5. Precipitación

La precipitación se refiere a un fenómeno meteorológico por el cual el agua, en forma líquida o sólida, desciende hacia la superficie terrestre. La lluvia es el resultado de un complejo proceso físico que tiene lugar en el interior de las nubes, que consiste en pequeñas gotas de agua y cristales de hielo.

Estas pequeñas partículas se crean cuando el vapor de agua dentro de una masa de aire se condensa. Esto se convierte en pequeñas gotas o en pequeños cristales. Partículas más grandes que son pesadas y, en consecuencia, dejan de estar suspendidas al estar más abajo

debido a la gravedad. La precipitación es parte del aire y la calidad del aire. La lluvia limpia la atmósfera de la contaminación. La precipitación también puede ocurrir de manera sólida cuando se encuentra a una distancia determinada entre -40 grados Celsius en la altura de las nubes, dando lugar a pequeños fragmentos de hielo (FECYT, 2004).

2.2.9. Métodos de Medición de Contaminantes Atmosféricos

Según explica WHO (2006), los métodos utilizados se categorizan en cuatro tipos principales. Aunque estos métodos pueden diferenciarse en términos de gastos, la complejidad de la tecnología utilizada y el grado de precisión, los métodos incluyen muestreadores pasivos, muestreadores de activos, analizadores automáticos y dispositivos de teledetección, cada uno con su propio propósito específico para medir diferentes contaminantes del aire.

2.2.9.1. Métodos pasivos de monitoreo del aire

Los métodos de monitoreo pasivo consisten en capturar un contaminante específico a través de procesos de adsorción en un sustrato químico previamente seleccionado. Durante el proceso de muestreo, el dispositivo se deja al aire libre por un tiempo determinado, variando desde una hora hasta incluso un año, dependiendo del propósito del estudio. Una vez que ya no hay más tiempo para la exposición, la muestra es enviada a un laboratorio, donde se hace un análisis cuantitativo por métodos especializados. El facilitador en la captación de contaminantes son los muestreadores pasivos, que consisten en dispositivos tales como tubos o discos, para atrapar contaminantes en el aire (DIGESA, 2005).

2.2.9.2. Métodos activos de monitoreo del Aire

Los métodos de monitoreo activo requieren el uso de energía eléctrica, ya que el aire es succionado a través de un sistema de bombeo y se filtra esencialmente o químicamente para capturar los contaminantes. Debido a que este método permite procesar más aire, el análisis se vuelve más sensible, permitiendo que se informe sobre los valores de concentración promedio en un marco temporal diario. Algunos de los dispositivos utilizados en este tipo de medición

incluyen medidores de burbujas, utilizados principalmente para la captura de gases, e impactadores, utilizados para la recolección de partículas. Uno de los dispositivos más conocidos en esta categoría es el muestreador de aire de alto volumen, o "High-Vol", que se utiliza ampliamente para medir PST, PM10 y PM2.5 (DIGESA, 2005).

2.2.9.3. Métodos automáticos de monitoreo del Aire

Las características de los métodos de monitoreo del aire permiten mediciones de alta precisión, en tiempo real y sin interrupciones; con estos métodos, se pueden realizar mediciones detalladas y específicas en el tiempo de la calidad del aire y la concentración, tan frecuentes como una vez por hora; una amplia variedad de contaminantes de monitoreo puede ser analizada, incluyendo sólidos atmosféricos y también contaminantes gaseosos y entre otros componentes tóxicos, de grado variable, como mercurio y compuestos orgánicos volátiles; se realiza utilizando técnicas instrumentales avanzadas como cromatografía y espectroscopía. De esta manera, el análisis puede hacerse de forma automática e instantánea. Estos métodos se pueden categorizar en dos: analizadores automáticos de gases y unidades de monitoreo de PM10 y PM2.5 (DIGESA, 2005).

2.2.9.4. Sensores Remotos

Los sensores remotos son una tecnología de monitoreo relativamente nueva que emplea técnicas espectroscópicas de largo alcance para medir contaminantes atmosféricos en tiempo real. Funcionan combinando una fuente de luz y un detector que opera a lo largo de una trayectoria predeterminada para analizar el porcentaje de contaminantes en el aire.

Cuando se trata de evaluar regiones cercanas a fuentes de emisión, los sistemas de monitoreo de largo alcance son particularmente útiles ya que hacen posible medir cambios en la concentración de contaminantes sin necesidad de instalar dispositivos de medición en un punto determinado. Sin embargo, para asegurar la confiabilidad de los resultados, es necesario

implementar una calibración, validación y gestión de datos apropiadas, junto con controles de garantía de calidad integrales (DIGESA, 2005).

2.2.10. Índice Nacional de Calidad de Aire (INCA)

Este Índice proporciona información sobre la calidad del aire en una zona específica. Utilizando tantas cifras como una escala de colores, el índice permite a la población, de una mayor facilidad, entender la categorización de polución y los riesgos que enfrenta por la presencia de diferentes contaminantes en el aire (Ministerio del Ambiente MINAM, 2016).

2.2.10.1. Valores del INCA

El INCA según DIGESA 2005) tiene un rango óptimo de valores entre 0 y 100. Estos valores están dentro de los estándares, lo que indica que el INCA está cumpliendo con los estándares actuales de Calidad del Aire.

Para comprender mejor el índice, el INCA se divide en cuatro grupos, basados en el estado de salud de las personas, que se muestran en forma de colores. La banda verde que va de 0 a 50 valores, nos indica que el estado del aire es buena y no va a generar problemas de salud. La banda amarilla que va de 51 a 100, llama la atención, porque la calidad del aire es moderada y no se recomienda esfuerzos excesivos. La banda anaranjada que va de 101 hasta el límite de salud del cuidado, pasa de aire de calidad mala. La banda roja de todas las actividades que superen el límite que va del cuidado de la salud cubre el umbral, donde las autoridades de salud deben realizar intervenciones o emergencias para proteger a las personas desfavorecidas.

Tabla 1

Valores correspondientes a la Ponderación del (INCA)

CALIFICACIÓN	VALORES DEL INCA	COLORES
Buena	0 - 50	Verde
Moderada	51 - 100	Amarillo
Mala	101 - VUEC*	Anaranjado
VUEC*	>VUEC*	Rojo

Nota. R.M. N°181 – 2016 – MINAM

2.2.11. Efectos en la salud del material particulado (PM10, PM2.5)

El comportamiento de las partículas en la atmósfera depende principalmente de su tamaño, que determina la distancia que pueden desplazarse desde su fuente de emisión. Las partículas más grandes tienden a asentarse cerca de su fuente, mientras que las más pequeñas permanecen suspendidas más tiempo y ser transportadas a bastante distancia por las corrientes de aire. De las partículas suspendidas, aquellas con un diámetro menor o igual a 10 μm (PM10) se consideran partículas respirables, porque tienen la capacidad de ingresar al sistema respiratorio humano. Más pequeña penetra más en vías respiratorias, con mayor porcentaje de riesgo para la salud con efectos adversos (Oyarzún, 2010).

PM2.5 son partículas extremadamente peligrosas. Su tamaño les permite penetrar en el sistema respiratorio y entrar al torrente sanguíneo. Son más pequeñas que la mayoría y contienen ácidos, hollín y subproductos de emisiones de vehículos e industriales, así como otros contaminantes peligrosos.

Debido a su tamaño, la exposición a PM2.5 puede resultar en graves consecuencias para la salud, incluidas enfermedades respiratorias y cardiovasculares, asma, bronquitis, enfisema, cáncer de pulmón y reducción general de la función pulmonar. Además, la exposición a PM2.5 puede resultar en exposición a elementos altamente tóxicos, como ciertos metales y compuestos orgánicos que tienen propiedades cancerígenas, lo que puede causar las enfermedades mencionadas anteriormente (Quijano & Quijano, 2010).

Según la OMS (2016), alrededor del 58% de las muertes prematuras atribuidas a la contaminación del aire se relacionaron con fallecimientos producidos por enfermedades cardíacas isquémicas y accidentes cerebrovasculares. Por otro lado, el 18% de los decesos se relacionaron con enfermedades respiratorias crónicas y agudas, alrededor del 6% se relacionaron con muertes por cáncer de pulmón. Todo esto muestra el gran impacto que el aire sucio tiene en la salud de la población.

2.3. Marco Legal

2.3.1. Ley N° 28611 “Ley General del Ambiente”

Busca establecer principios y disposiciones que orienten la gestión ambiental dada por el Congreso de la Republica del Perú (2005), para asegurar la protección del ambiente y sus diversos componentes y así mejorar la calidad de vida el desarrollo sostenible:

Artículo 1°

Se establece los principios y disposiciones fundamentales que regulan la gestión ambiental y así garantizar bajo esta norma el ejercicio efectivo del derecho de cada persona a vivir en un ambiente sano reconociendo que existe un deber social de participar activamente en la protección del ambiente y sus componentes, contribuyendo a una adecuada gestión del ambiente que mejore su calidad de forma sostenible.

2.3.2. Ley General de Salud Ley N° 26842

Artículo N° 103

La protección del ambiente es una responsabilidad compartida entre el Estado la sociedad como dio lugar el Congreso de la Republica del Perú (1997) de carácter natural o jurídico, donde todos tienen obligación de preservar el ambiente manteniendo límites y estándares establecidos por la autoridad sanitaria, y así proteger la salud pública:

Artículo N° 104

Asimismo, ningún individuo o entidad jurídica podrá descargar desechos o sustancias contaminantes en agua, aire o suelo sin haber implementado previamente las medidas de tratamiento o purificación correspondientes, conforme a lo dispuesto en la normativa sanitaria y de protección ambiental vigente.

2.3.3. Estándar de Calidad de Aire D.S N° 003-2017 MINAM

Establecido por el Decreto Supremo N.º 003-2017-MINAM (2017) son de valores de concentración de contaminantes con un bajo % de riesgo significativo para la salud pública ambiental.

Los estándares se basan en el concepto de valores guía de calidad del aire, de la OMS, que establece niveles de concentración de contaminantes que no genera efectos adversos importantes en la salud.

Tabla 2
Estándar de Calidad Ambiental para Aire

PARÁMETROS	PERÍODO	VALOR (MG/M ³)	CRITERIOS DE EVALUACIÓN	MÉTODO DE ANÁLISIS ⁽¹⁾
Benceno (C ₆ H ₆)	Anual	2	Media aritmética anual	Cromatografía de gases
Dióxido de Azufre (SO ₂)	24 horas	250	NE más de 7 veces al año	Fluorescencia ultravioleta
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	1 hora	200	NE más de 24 veces al año	Quimioluminiscencia (Método automático)
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM _{2,5})	Anual	100	Media aritmética anual	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	24 horas	50	NE más de 7 veces al año	
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀)	Anual	25	Media aritmética anual	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	24 horas	100	NE más de 7 veces al año	
Mercurio Gaseoso Total (Hg) [2]	24 horas	2	No Exceder	Espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS) o Espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS) o Espectrometría de absorción atómica Zeeman. (Métodos automáticos)
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	30000	NE más de 1 vez al año	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)
	8 horas	10000	Media aritmética móvil	
Ozono (O ₃)	8 horas	100	Máxima media diaria NE más de 24 veces al año	Fotometría de absorción ultravioleta (Método automático)
Plomo (Pb) en PM ₁₀	Mensual	1,5	NE más de 4 veces al año	Método para PM ₁₀ (Espectrofotometría de absorción atómica)
	Anual	0,5	Media aritmética de los valores mensuales	
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	24 horas	150	Media aritmética	Fluorescencia ultravioleta (Método automático).

Nota. D.S. N° 003-2017-MINAM.

2.3.4. Decreto Supremo N° 012-2009-MINAM

Establece en sus directrices de política ambiental la necesidad de implementar acciones que prevengan y minimicen todo impacto causado por los contaminantes atmosféricos. En este

sentido, esta norma fomenta la adopción de medidas destinadas a controlar y minimizar los impactos que la contaminación del aire puede causar en la salud de la población, colaborando así en la protección del medio ambiente y la salud pública.

2.3.5. Constitución Política del Perú

Artículo 2°

De acuerdo con el Congreso Constituyente Democrático (1993) en el Inciso 22 se establece que es un deber fundamental del Estado garantizar que todas las personas puedan disfrutar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida. Reconociendo el derecho público a tener y disfrutar ambientes saludables como un derecho de naturaleza universal, y el Estado tiene la obligación de garantizar su protección.



CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y Nivel de Investigación

Este estudio se encuentra definido mediante un enfoque cuantitativo. Por lo que se recurre a datos numéricos recopilados de la estación de monitoreo y asimismo la información obtenida se procesó estadísticamente.

El nivel es descriptivo, ya que busca caracterizar la concentración de material particulado (PM10 y PM2.5) en el distrito de Socabaya durante el periodo 2023–2024.

El tratamiento de los datos se ha realizado mediante estadística no probabilística. Se emplearon medidas de tendencia central como los promedios mensuales y anuales, así como la clasificación de los datos según los rangos establecidos por los índices INCA y AQI. Por otro lado, se implementó un análisis de tipo probabilístico sencillo como herramienta complementaria de predicción, donde se aplicó el modelo de promedio móvil, con la finalidad de estimar posibles valores futuros de material particulado.

3.2. Operacionalización de variables

3.2.1. Variables dependientes

Índice de la calidad de aire

3.2.2. Variables independientes

Material particulado (PM10)

Material particulado (PM2.5)

Tabla 3*Operacionalización de Variables*

CONTEXTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO DE MEDIDA	UNIDAD DE MEDIDA
VI: Concentración de material partícula (PM₁₀ PM_{2.5})	Material particulado de naturaleza orgánica	Concentración de PM ₁₀	Estaciones automáticas de monitoreo de calidad de aire (dispersión de luz)	µg/m ³
	Material particulado de naturaleza inorgánica	Concentración de PM _{2.5}		
VD: Índice de calidad de aire	Índice de calidad de aire, según el método INCA para PM _{2.5} y PM ₁₀	INCA	Datos procesados según el INCA <ul style="list-style-type: none"> • I (PM₁₀) = [PM₁₀] * 100/150 • I (PM_{2.5}) = [PM_{2.5}] * 100/25 	Cualitativa: Buena, moderada, mala y umbral de cuidado

Nota. Elaboración Propia

3.3. Ubicación de la zona de estudio

3.3.1. Características del distrito de Socabaya

Se encuentra ubicado en el departamento de Arequipa a 2352 m.s.n.m. y el área comprendida entre las siguientes coordenadas:

- Latitud: 16° 27' 9" Sur.
- Longitud: 71° 31' 52" Oeste.

3.3.2. Límites del área de estudio

Estas coordenadas corresponden a los puntos, dentro de los cuales está delimitado el distrito de Socabaya

- Por el Norte: con el distrito de José Luis Bustamante y Rivero.
- Por el Sur: con los distritos Yarabamba y La Joya.
- Por el Este: con los distritos de Characato y Mollebaya.
- Por el Oeste: con el distrito de Uchumayo.

3.4. Área de estudio

3.4.1. Descripción del punto de monitoreo

La investigación se centró específicamente en la zona de La Pampa, dentro del distrito de Socabaya, donde se está ubicada la estación de monitoreo la cual se encuentra alejada de fuentes puntuales, por lo que dicho punto de monitoreo no evidenciaría sesgo. Esta zona fue seleccionada debido a su carácter representativo de las condiciones ambientales del distrito, al estar influenciada por diversas fuentes de emisión, pero no directamente, tales como el tránsito vehicular, actividades urbanas y, en menor medida, fuentes difusas de polvo.

Asimismo, la ubicación de la estación presenta condiciones similares a otras zonas del distrito en términos de topografía, características meteorológicas, lo que permite que las concentraciones de material particulado registradas sean representativas del comportamiento general de la calidad del aire en Socabaya.

3.4.2. Caracterización de la zona de estudio

De acuerdo con el criterio poblacional establecido en el protocolo nacional de monitoreo del MINAM, el distrito de Socabaya, cuenta con una población estimada entre 84,000 y 89,000 habitantes para los años 2023–2024, el cual corresponde al periodo evaluado y se encuentra dentro del rango de 0 a 249 mil habitantes, para el cual se establece un mínimo de una estación de monitoreo.

Asimismo Socabaya presenta una área aproximada de 18.64 km² y una población estimada de 84,122 y 85,369 habitantes para los años 2023 y 2024 en la cual se utilizó como base la población del año 2021 (81,651 habitantes, INEI) y a su vez se aplicó una tasa de crecimiento anual del 1.5%, empleando el modelo de crecimiento geométrico. En ese sentido, el uso de una estación resulta técnicamente suficiente bajo el enfoque normativo, garantizando la representatividad de las condiciones promedio de la calidad del aire en el distrito. Además,

su adecuada localización y la escala territorial relativamente homogénea favorecen la obtención de datos consistentes y comparables en el tiempo.

3.5. Población y Muestra

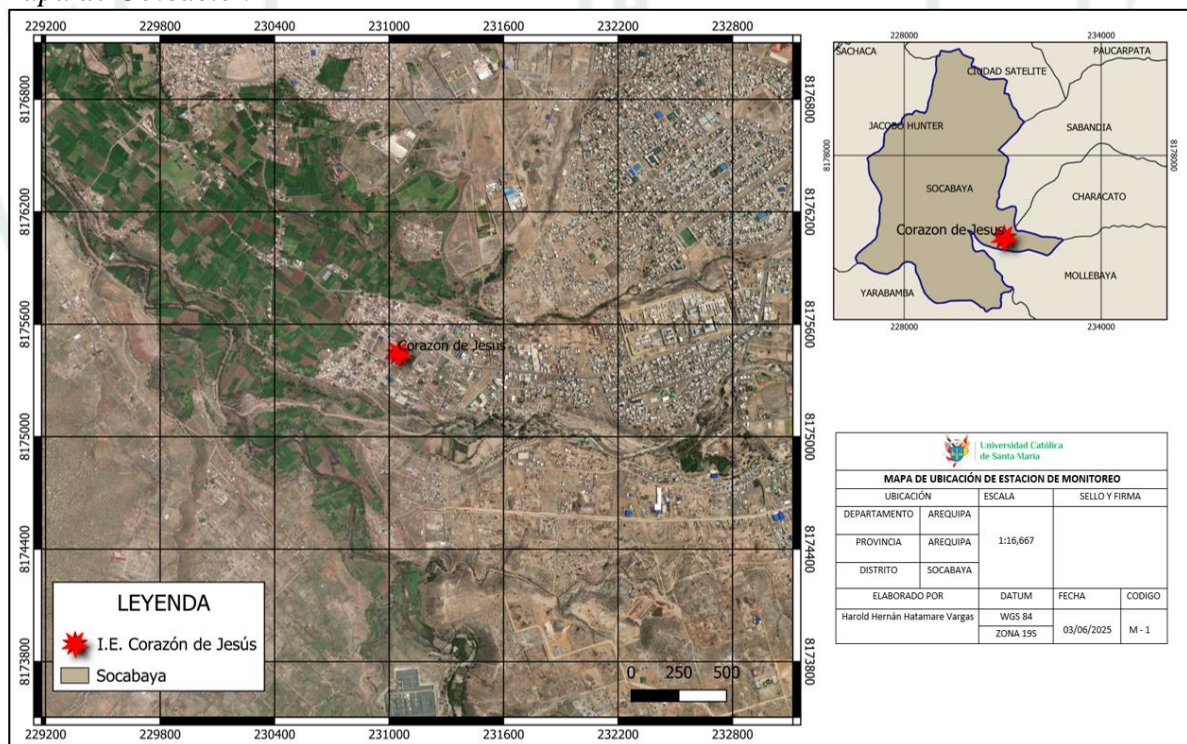
3.5.1. Población

La población comprendida en el presente trabajo abarca el distrito de Socabaya

3.5.2. Muestra

La muestra corresponde a la zona de La Pampa dentro del distrito de Socabaya, donde se ubica la estación de monitoreo de calidad del aire utilizada para el análisis de PM10 y PM2.5 muestreo realizado por OEFA y SMCV donde ambas entidades toman las correspondientes muestras puntuales por actividades antropogénicas agrícola y urbana que se dan dentro del entorno.

Figura 5
Mapa de Ubicación



Nota. Elaboración Propia

3.6. Métodos de recolección de datos

3.6.1. Datos de PM10 y PM2.5

Los datos PM10 y PM2.5 se recopilarán a diario desde julio de 2023 hasta junio de 2024. Los datos de monitoreo se recogerán con la estación de monitoreo automático GRIMM EDM 180 instalada en la Institución Educativa Corazón de Jesús.

Los monitores utilizan el método de dispersión de luz, que permite establecer el tamaño y la concentración de las partículas en suspensión en el aire. Con esta metodología, se generarán registros diarios de concentración de material particulado PM10 y PM2.5, en microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Posteriormente, a estos datos se les dará un tratamiento con el fin de analizar la tendencia o patrón en el tiempo de los valores registrados de material particulado, para lo cual se calcularán promedios mensuales y anuales.

Además, la validación y procesamiento de la información recopilada se realizará de acuerdo con lo que establece el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad del Aire, un documento que define los procedimientos técnicos para el procesamiento, aseguramiento de la calidad y reporte de datos recopilados en estaciones de monitoreo atmosférico. Este protocolo establece que los datos pueden ser difundidos en tiempo real; sin embargo, cuando la información primaria se publica en plataformas en línea, debe indicarse que está en proceso de validación. Esta aclaración permite evitar interpretaciones erróneas hasta que los datos hayan sido verificados y aprobados. Finalmente, una vez que se complete la etapa de validación y procesamiento de la información, se llevará a cabo el cálculo de los índices de calidad del aire, específicamente, el Índice Nacional de Calidad del Aire (INCA) y el Índice de Calidad del Aire (AQI).

3.6.2. Datos meteorológicos

Se recolectará datos de las variables meteorológicas que afectan la dispersión y el comportamiento de los contaminantes en la atmósfera, tales como:

- Velocidad y dirección del viento (en m/s).
- Temperatura del aire (en °C).
- Humedad relativa (en %).
- Precipitación (en mm).
- Presión atmosférica (en hPa).

Se considera que estos parámetros serán recolectados automáticamente por la estación meteorológica durante el mismo periodo de monitoreo de aire para su análisis conjunto con los datos de material particulado.

3.7. Técnicas e instrumentos para la recopilación de datos

3.7.1. Técnica

Se empleó la técnica de tipo observacional, ya que permite tener una percepción completa del problema, registrándola a través de equipos de seguimiento en la estación de monitoreo de la OEFA

3.7.2. Instrumentos

3.7.2.1. Portal web de OEFA

Donde se compilaron todos los datos en base de los resultados emitidos en la estación con el objetivo de analizar el comportamiento horario de material particulado (PM₁₀) y (PM_{2.5}), en el distrito de Socabaya desde Julio de 2023 hasta Junio de 2024.

3.7.2.2. Monitor de Dispersión de luz

Dispositivo utilizado principalmente en análisis de partículas para medir la dispersión de luz que ocurre cuando un rayo de luz interactúa con partículas suspendidas en el aire u otro medio.

3.7.2.3. Estaciones meteorológicas automáticas

Proporcionar datos climatológicos históricos, incluso por periodos de un año o más. Estas estaciones recopilan automáticamente todas las variables meteorológicas.

Tabla 4*Método de Análisis del Aire*

PARÁMETRO	MÉTODO	TÉCNICA EMPLEADA
Material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀)	Método automático	Dispersión de luz
Material particulado con diámetro menor a 2.5 micras (PM _{2.5})		
Velocidad de viento		
Dirección de viento	Método automático	
Temperatura ambiente		
Humedad relativa		
Precipitación		
Presión atmosférica		

Nota. Adaptado de OEFA

Tabla 5*Características del Equipo*

PARÁMETRO	EQUIPO	MARCA	MODELO	SERIE
Material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀)	Monitor automático de partículas	GRIMM	EDM 180	18A20147 18A20130
Material particulado con diámetro menor a 2.5 micras (PM _{2.5})	Sensor anemométrico	Lastem	DNB105.2	21005921/ 21020373
Velocidad y dirección de viento	Sensor de presión	Lastem	DQA251	21040105/ 30008225
Presión atmosférica	Sensor de temperatura y humedad	Lastem	DMA975	21020260
Temperatura ambiente y humedad relativa	Sensot pluviométrico	Lastem	DQA231.1	21020274
Precipitación				

Nota. Adaptado de OEFA

3.8. Metodología de la investigación

A continuación, se detalla los procedimientos metodológicos por objetivo específico.

3.8.1. Caracterización del aire en el Distrito de Socabaya

3.8.1.1. Recolección de datos meteorológicos

Según el Protocolo Nacional de la Calidad del Aire (Decreto Supremo N° 010-2019-MINAM, 2019), se requiere la recopilación de información de las variables meteorológicas para interpretar el comportamiento de los contaminantes. Es por ello que se recopilarán los datos de la estación ya instalada I.E. Corazón de Jesús en el distrito de Socabaya.

- Velocidad y dirección del viento
- Humedad relativa del aire
- Temperatura del aire
- Precipitación del aire
- Presión atmosférica

Las actividades de monitoreo de la calidad del aire deben incluir también el monitoreo de las condiciones climáticas. Las condiciones climáticas impactan directamente en los procesos de dispersión, transporte y acumulación de contaminantes en la atmósfera. Por ejemplo, para entender el comportamiento de los contaminantes atmosféricos, es importante saber cómo manejar la dirección y velocidad del viento. En los estudios de viento, la velocidad del viento se puede medir de diferentes maneras, pero el promedio se expresa en metros por segundo (m/s).

3.8.1.2. Recolección de datos de los parámetros

La recopilación de datos para los parámetros analizados se realizará utilizando la estación de monitoreo automático ubicada en la Institución Educativa Corazón de Jesús en el distrito de Socabaya, provincia y región de Arequipa.

Como parte de la investigación, se realizarán registros diarios de concentración de material particulado PM10 y PM2.5 originados en la estación de monitoreo automático, y en virtud de la información que se registre, se procederá a definir los promedios mensuales de cada uno de los contaminantes, que permitirán el análisis de la conducta de las concentraciones de material particulado en el tiempo en la zona en estudio.

Los datos se recogen a través de un método de dispersión de la luz que mide la interacción de cada partícula de la muestra (material particulado) con un rayo de luz que atraviesa la corriente de aire que se introduce en el equipo de monitoreo. En este método, se mide la luz dispersada por cada partícula para determinar su tamaño en función del ángulo de

dispersión o reflexión de la luz. Asimismo, el sistema también mide el número de partículas de la muestra, por eso se les llama también contadores ópticos de partículas.

Cuando el equipo mide y cuenta el número de partículas, el sistema calcula automáticamente la masa del analito y luego calcula la concentración en microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

3.8.2. Índices de calidad de aire: INCA y AQI

Seguendo la RM N°181-2016-MINAM, para la evaluación y análisis de la calidad del aire, se puede evaluar utilizando el Índice Nacional de Calidad del Aire (INCA), que determina con respecto a la concentración de contaminantes atmosféricos más relevantes.

3.8.2.1. Índice de calidad del aire - INCA

En este caso, se utilizará el INCA para este estudio para guiar y proporcionar un mensaje claro sobre la calidad del aire en el distrito de Socabaya.

Tabla 6
Índice de Calidad del Aire - INCA

CALIFICACIÓN	VALORES DEL INCA	COLORES
Buena	0 - 50	Verde
Moderada	51 - 100	Amarillo
Mala	101 - VUEC*	Anaranjado
VUEC*	>VUEC*	Rojo

Nota. Adaptado de R.M. N°181 - 2016 - MINAM

*VUEC: Valor umbral del estado de cuidado.

Tabla 7
Índice de Calidad del Aire - INCA

CALIFICACIÓN	CUIDADOS	RECOMENDACIONES
Buena	Los ciudadanos pueden desempeñar su función o actividades al aire libre sin preocuparse por los efectos negativos en su salud.	La calidad del aire permanece estable y dentro de ECA.
Moderada	Las personas pueden realizar actividades al aire libre, pero los grupos sensibles deben ser cautelosos. La calidad del aire permanece estable y dentro de ECA	Algunos grupos, incluidos niños, ancianos, mujeres embarazadas y personas que padecen enfermedades respiratorias crónicas o condiciones cardiovasculares, están en riesgo de experimentar efectos adversos para la salud.
Mala	Cuando las condiciones del aire entran en esta categoría, las personas que pertenecen a algunos grupos sensibles pueden verse en la necesidad de intervenir debido a que se encuentran en riesgo de sufrir problemas de salud. Incluso la población en general podría empezar a sentir algún problema a causa de la exposición a los contaminantes en el aire.	En esos casos, se recomienda mantenerse al tanto de las variaciones de la calidad del aire, y de ser posible, tratar de no realizar esfuerzos fisiológicos o actividad física de larga duración al aire libre.
Umbral de cuidado	A este nivel, la cantidad de contaminantes en el aire puede ser dañina para la salud de cualquier persona, y especialmente para la franja etaria de riesgo que incluye a los niños, ancianos, mujeres embarazadas y personas que padecen de alguna enfermedad pulmonar obstructiva crónica o que tienen problemas del corazón	Se debe informar a la autoridad de salud correspondiente, para que proceda a evaluar la posible declaración de niveles de alerta, según el decreto supremo N° 009-2003-SA y modificatoria, ds 012-2005-SA

Nota. Adaptado de R.M. N°181 – 2016 – MINAM

3.8.2.2. Cálculo del Índice Nacional de Calidad del Aire

Para realizar dicha estimación este proyecto requiere la data de los parámetros medidos de los años 2023 – 2024 en el lugar de muestreo establecido en la I.E. Corazón de Jesús

Las tablas 8 y 9 muestran la calificación del INCA para el PM₁₀ y PM_{2.5}, con su ecuación para cada parámetro evaluado respectivamente.

Tabla 8*Índice de Calidad del Aire para PM10*

MATERIAL PARTICULADO (PM10) PROMEDIO 24 HORAS		
Intervalo del INCA	Intervalo de concentraciones	Ecuación
0 - 50	0 - 75	$I (PM10) = [PM10] * 100/150$
51 - 100	76-150	
101 - 167	151-250	
>167	>250	

Nota. Adaptado de R.M. N°181 – 2016 – MINAM.

“I” = INCA, es decir, Es el índice de calidad del aire según el material particulado (PM₁₀)

Tabla 9*Índice de Calidad del Aire para PM2.5*

MATERIAL PARTICULADO (PM2.5) PROMEDIO 24 HORAS		
Intervalo del INCA	Intervalo de concentraciones	Ecuación
0 - 50	0 – 12.5	$I (PM2.5) = [PM2.5]* 100/25$
51 - 100	12.6-25	
101 - 500	25.1-125	
>500	>125	

Nota. Adaptado de R.M. N°181 – 2016 – MINAM

“I” = INCA, es decir, índice de calidad del aire según el material particulado (PM_{2.5})

3.8.3. Determinación de la calidad de Aire AQI

El Índice AQI es un producto de los Estándares Nacionales de Calidad del Aire Ambiente (NAAQS) que aplican a la EPA (Agencia de Protección Ambiental) de los EE. UU. Estos estándares limitan el nivel máximo permitido de concentraciones de contaminantes en el aire para salvar la salud de las personas y proteger el medio ambiente.

3.8.3.1. Índice de Calidad del Aire (AQI)

Es una escala numérica de 0 a 500. Cuanto mayor sea el número en esta escala, mayor será el nivel de contaminación y los riesgos para la salud pública.

Cada uno de los contaminantes elaborados corresponde a la medida de AQI del 100 a una concentración de dicho contaminante que coincide con el valor por el cual se establece el límite por los estándares nacionales, que están diseñados para resguardar la salud de la población. En términos generales, los valores de AQI menores o iguales a 100 son considerados aceptables o satisfactorios, porque indican que la calidad del aire se resguarda en niveles adecuados.

En cambio, cuando los valores del AQI superan la medida de 100, la calidad del aire comienza a ser peligrosa para la salud. Primeramente, los efectos pueden hablarse de grupos sensibles de la población, entre ellos encontramos niños, ancianos, o personas que padecen de enfermedades del sistema respiratorio o cardiovascular. El aumento del índice va a tener efectos adversos en el resto de la población, lo que significa un aumento progresivo en el deterioro de las condiciones de la calidad del aire.



Tabla 10*Categorías del AQI*

CONCEPTOS BÁSICOS DEL AQI PARA LA CONTAMINACIÓN POR OZONO Y PARTÍCULAS			
Color diario del ICA	Niveles de preocupación	Valores del índice	Descripción de la calidad del aire
Verde	Bien	0 a 50	La calidad del aire es satisfactoria y la contaminación del aire plantea poco o ningún riesgo
Amarillo	Moderado	51 a 100	La calidad del aire es aceptable. Sin embargo, puede existir un riesgo para algunas personas, particularmente aquellas que son inusualmente sensibles a la contaminación del aire
Naranja	No saludable para grupos sensibles	101 a 150	Los miembros de grupos sensibles pueden experimentar efectos sobre la salud. Es menos probable que el público en general se vea afectado
Rojo	Insalubre	151 a 200	Algunos miembros del público en general pueden experimentar efectos sobre la salud. Los miembros de grupos sensibles pueden experimentar efectos de salud más graves.
Purpura	Muy poco saludable	201 a 300	Alerta sanitaria: El riesgo de efectos sobre la salud aumenta para todos
Granate	Peligroso	301 y superior	Advertencia sanitaria de condiciones de emergencia: todos tienen más probabilidades de verse afectados

Nota. Adaptado de Air Quality Index (AQI) Basics.

3.8.3.2. Cálculo del AQI

Para la estimación del AQI en este proyecto se requirió

Tabla 11*Puntos de Interrupción para el AQI*

These Breakpoint							equal	and this category
O3 ppm 8-hour	O3 ppm 1-hour	PM2.5 µg/m ³ 24-hour	PM10 µg/m ³ 24-hour	CO ppm 8-hour	SO2 ppb 1-hour	NO2 ppb 1-hour	AQI	
0.000 – 0.054	-	0.0 – 12.0	0 – 54	0.0 – 4.4	0 – 35	0 – 53	0 – 50	Good
0.055 – 0.070	-	12.1 – 35.4	55 – 154	4.5 – 9.4	36 – 75	54 – 100	51 – 100	Moderate
0.071 – 0.085	0.125 – 0.164	35.5 – 55.4	155 – 254	9.5 – 12.4	76 – 185	101 – 360	101 – 150	Unhealthy for sensitive groups
0.086 – 0.105	0.165 – 0.204	55.5 – 150.4	255 – 354	12.5 – 15.4	186 – 304	361 – 649	151 – 200	Unhealthy
0.106 – 0.200	0.205 – 0.404	150.5 – 250.4	355 – 424	15.5 – 30.4	305 – 604	650 – 1249	201 – 300	Very unhealthy
()	0.405 – 0.504	250.5 – 350.4	425 – 504	30.5 – 40.4	605 – 804	1250 – 1649	301 – 400	Hazardous
()	0.505 – 0.604	350.5 – 500.4	505 – 604	40.5 – 50.4	805 – 1004	1650 – 2049	401 – 500	Hazardous

Nota. Adaptado de Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality

Según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), el Índice de Calidad del Aire (AQI) se calcula utilizando fórmulas específicas para cada contaminante. El AQI para un contaminante particular se determina a través de la siguiente fórmula:

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

- Donde I_p = el índice del contaminante p
- C_p = Concentración medida del contaminante.
- BP_{Hi} = Punto de corte alto (*Break Point High*) de concentración para el rango.
- BP_{Lo} = Punto de corte bajo (*Break Point Low*) de concentración para el rango.
- I_{Hi} = Valor alto del índice en el rango que contiene tu medición
- I_{Lo} = Valor bajo del índice en el rango que contiene tu medición

Para su cálculo, se sigue un proceso estructurado. Primero, se identifica el contaminante ($PM_{2.5}$, PM_{10}) y se determina su concentración en el aire mediante mediciones. Luego, se consultan las tablas de rangos de concentración y sus valores de AQI, que varían según la normativa de cada país. Finalmente, se aplica la fórmula del AQI utilizando los valores de concentración y los límites obtenidos, lo que permite calcular el índice que refleja la calidad del aire en la zona evaluada.

3.8.4. Evaluación del cumplimiento de los ECA-Aire

Para ver si satisfacen los Estándares de Calidad Ambiental para el Aire (ECA-AIRE) del Ministerio del Ambiente a través del Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, se utilizó Microsoft Excel para el procesamiento de datos. Con esta herramienta, se realizaron gráficos representativos de los datos obtenidos para cada parámetro evaluado, lo que permitió comparar los valores registrados con los límites establecidos en la normativa ambiental vigente. De esta manera, se pudo analizar visualmente el comportamiento de las concentraciones de los contaminantes y determinar si estas se encontraban dentro del rango permitido.

3.8.5. Evolución mensual de la calidad del aire

Se realizaron gráficos lineales con el software Microsoft Excel. Este procedimiento permitió observar claramente la evolución del nivel de contaminación atmosférica a lo largo del estudio, lo que ayudó a observar posibles cambios o variaciones en las concentraciones de los contaminantes evaluados. Analizando y comparando cada mes del periodo analizado se pudo entender mejor el comportamiento de los contaminantes.

3.8.6. Análisis de tendencia mediante promedio móvil

Se utilizó un enfoque de medios móviles simple para analizar las tendencias de concentración de PM10 y PM2.5 en Socabaya. Con este método, se puede evaluar el aumento y la disminución mensual de los contaminantes, y predecir cuál sería la tendencia futura de los contaminantes. Dado que solo se dispone de los datos registrados desde enero de 2022 hasta junio de 2024, se realizan proyecciones de los niveles de contaminación futuros para los próximos tres años. A pesar de que el modelo de medios móviles es un modelo estadístico extremadamente simple, es muy efectivo para analizar tendencias en datos registrados a lo largo de un período de tiempo. El modelo de medios móviles también ayuda a evaluar y analizar diferentes períodos de tiempo, reconociendo los cambios graduales en los contaminantes del aire. El modelo de medio móvil captura tendencias de datos y ayuda a hacer recomendaciones significativas para la gestión de los contaminantes del aire.



CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Resultados diarios y mensuales de PM₁₀ y PM_{2.5}

Se muestra registrados los valores diarios de concentración de PM₁₀ en el distrito de Socabaya durante el periodo evaluado de Julio del 2023 a junio del 2024, junto con sus promedios y rangos estadísticos mensuales.



Tabla 12*Valores Diarios y Promedio Mensual de PM₁₀ (µg/m³)*

Julio del 2023	Unidades (µg/m ³)	Agosto del 2023	Unidades (µg/m ³)	Setiembre del 2023	Unidades (µg/m ³)	Octubre del 2023	Unidades (µg/m ³)
2023-07-01	104.3	2023-08-01	108.6	2023-09-01	101.8	2023-10-01	82.9
2023-07-02	79.2	2023-08-02	99.1	2023-09-02	102.2	2023-10-02	80.7
2023-07-03	94.5	2023-08-03	106.8	2023-09-03	140.5	2023-10-03	87
2023-07-04	124	2023-08-04	133.4	2023-09-04	88.1	2023-10-04	84
2023-07-05	108	2023-08-05	99.1	2023-09-05	106.2	2023-10-05	93.8
2023-07-06	109.6	2023-08-06	96.8	2023-09-06	110.3	2023-10-06	91.5
2023-07-07	120.2	2023-08-07	84.4	2023-09-07	92.9	2023-10-07	95
2023-07-08	111	2023-08-08	102.7	2023-09-08	88.4	2023-10-08	92.3
2023-07-09	87.7	2023-08-09	88.7	2023-09-09	105	2023-10-09	87.5
2023-07-10	105.8	2023-08-10	106.2	2023-09-10	76.7	2023-10-10	92.5
2023-07-11	103.1	2023-08-11	109	2023-09-11	92	2023-10-11	96.9
2023-07-12	110.4	2023-08-12	88.7	2023-09-12	112.2	2023-10-12	88.7
2023-07-13	110	2023-08-13	72.2	2023-09-13	104	2023-10-13	103.8
2023-07-14	17.7	2023-08-14	87.8	2023-09-14	89.5	2023-10-14	91.7
2023-07-15	88.4	2023-08-15	75.4	2023-09-15	100.9	2023-10-15	78
2023-07-16	82.7	2023-08-16	110.9	2023-09-16	90.8	2023-10-16	80.7
2023-07-17	105.8	2023-08-17	125.8	2023-09-17	82	2023-10-17	66.9
2023-07-18	105.3	2023-08-18	179.5	2023-09-18	96	2023-10-18	74.5
2023-07-19	118.4	2023-08-19	122.4	2023-09-19	95.2	2023-10-19	86
2023-07-20	125.9	2023-08-20	82.7	2023-09-20	112.2	2023-10-20	88.7
2023-07-21	116.2	2023-08-21	106.3	2023-09-21	191.7	2023-10-21	100.9
2023-07-22	106.5	2023-08-22	122.8	2023-09-22	142.6	2023-10-22	84.2
2023-07-23	111.7	2023-08-23	136.7	2023-09-23	178.4	2023-10-23	92.4
2023-07-24	115.7	2023-08-24	128	2023-09-24	127.3	2023-10-24	112.8
2023-07-25	113.7	2023-08-25	110.4	2023-09-25	88.6	2023-10-25	90.1
2023-07-26	117	2023-08-26	105.3	2023-09-26	109.4	2023-10-26	79.9
2023-07-27	95.7	2023-08-27	132.6	2023-09-27		2023-10-27	89.8
2023-07-28	88.4	2023-08-28	118.6	2023-09-28		2023-10-28	68.1
2023-07-29	96.4	2023-08-29	121.1	2023-09-29	99.6	2023-10-29	50.6
2023-07-30	93	2023-08-30	95.8	2023-09-30	103.7	2023-10-30	98.4
2023-07-31	92.6	2023-08-31	113.4			2023-10-31	98.4
Promedio Mensual	105.1		108.7		108.2		87.4
Máximo				191.7 µg/m ³			
Mínimo				50.6 µg/m ³			

Nota. Datos recopilados de la estación de Monitoreo Ambiental Automática GRIMM EDM 180, instalada en la I.E. Corazón de Jesús – Socabaya (OEFA, 2023–2024).

En la recolección de data para este cuatrimestre se observa que los niveles de PM_{10} alcanzan valores elevados de $105.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $108.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $108.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en tres meses consecutivos. En los meses de agosto y Setiembre se registran concentraciones altas y constantes, asimismo el valor máximo alcanzado durante este cuatrimestre fue $191,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Setiembre y el mínimo fue de $50,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en octubre. Euribe y Neyra (2023) determinaron que los niveles de concentración se elevan los primeros días de cada mes, a medio mes y fin de mes; esto muestra la alta variabilidad interdiaria con picos críticos de contaminación.

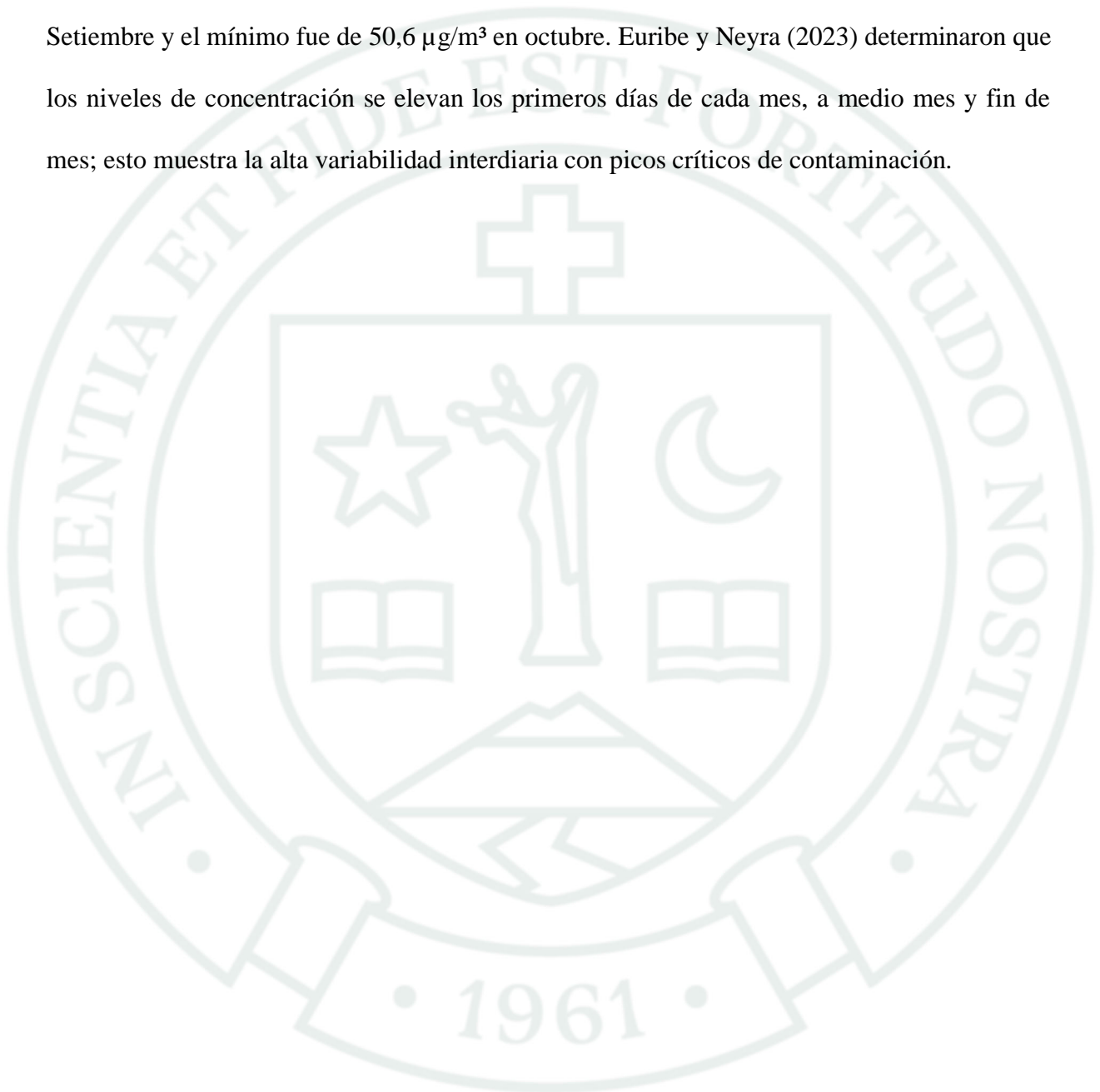


Tabla 13*Valores Diarios y Promedio Mensual de PM₁₀ (µg/m³)*

Noviembre del 2023	Unidades (µg/m ³)	Diciembre del 2023	Unidades (µg/m ³)	Enero del 2024	Unidades (µg/m ³)	Febrero del 2024	Unidades (µg/m ³)
2023-11-01	86.7	2023-12-01	97.1	2024-01-01	63.1	2024-02-01	61
2023-11-02	82	2023-12-02	85	2024-01-02	57	2024-02-02	61.1
2023-11-03	87.7	2023-12-03	70.3	2024-01-03	51.9	2024-02-03	50.4
2023-11-04	86.4	2023-12-04	82.4	2024-01-04	57	2024-02-04	43.3
2023-11-05	84.3	2023-12-05	85	2024-01-05	44.8	2024-02-05	42.9
2023-11-06	100	2023-12-06	82.8	2024-01-06	61.3	2024-02-06	47
2023-11-07	113.6	2023-12-07	92.2	2024-01-07	61.6	2024-02-07	44.5
2023-11-08	107.2	2023-12-08	105.9	2024-01-08	63.1	2024-02-08	44.6
2023-11-09	95.3	2023-12-09	112.3	2024-01-09	63.8	2024-02-09	54.1
2023-11-10	86.3	2023-12-10	97.8	2024-01-10	67.4	2024-02-10	51.7
2023-11-11	75.7	2023-12-11	91.9	2024-01-11	61.4	2024-02-11	53.1
2023-11-12	68.7	2023-12-12	95.3	2024-01-12	63.6	2024-02-12	42.4
2023-11-13	69.5	2023-12-13	95.3	2024-01-13	79	2024-02-13	52.3
2023-11-14	86.7	2023-12-14	57.9	2024-01-14	66.5	2024-02-14	64.3
2023-11-15	73.6	2023-12-15	78	2024-01-15	68.2	2024-02-15	64.9
2023-11-16	59.3	2023-12-16	73.5	2024-01-16	79.1	2024-02-16	61.6
2023-11-17	78.3	2023-12-17	74.1	2024-01-17	83.1	2024-02-17	61.5
2023-11-18	89.8	2023-12-18	80.5	2024-01-18	60.7	2024-02-18	51.2
2023-11-19	76.1	2023-12-19	78.1	2024-01-19	86.8	2024-02-19	27.2
2023-11-20	82.8	2023-12-20		2024-01-20	58.9	2024-02-20	29.3
2023-11-21	90.9	2023-12-21	74.2	2024-01-21	47	2024-02-21	26
2023-11-22	76.8	2023-12-22	90.8	2024-01-22	55.7	2024-02-22	21.5
2023-11-23	84.5	2023-12-23	117.9	2024-01-23	51.9	2024-02-23	33.7
2023-11-24	84.6	2023-12-24	75.5	2024-01-24	53.5	2024-02-24	28
2023-11-25	85.3	2023-12-25	66.9	2024-01-25	36.1	2024-02-25	22.6
2023-11-26	87.3	2023-12-26	79.6	2024-01-26	37.9	2024-02-26	18.2
2023-11-27	83.2	2023-12-27	67.1	2024-01-27	43	2024-02-27	27.1
2023-11-28	86.5	2023-12-28	45.9	2024-01-28	45	2024-02-28	34.8
2023-11-29	95.3	2023-12-29	61.8	2024-01-29	44.5	2024-02-29	33.5
2023-11-30	87.2	2023-12-30	81.7	2024-01-30	54.1		
		2023-12-31	70.1	2024-01-31	60.2		
PROMEDIO MENSUAL	85.1		82.2		58.9		43.2
MAXIMO				117.9 µg/m3			
MINIMO				18.2 µg/m3			

Nota. Datos recopilados de la estación de Monitoreo Ambiental Automática GRIMM EDM 180

En noviembre y diciembre aún se presentan valores elevados diarios alrededor de 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, por otro lado, tanto en el mes de enero y febrero las concentraciones diarias descienden considerablemente dando lugar a un valor de promedio mensual bajo en comparación con los otros dos meses. Para este cuatrimestre el valor máximo fue 117,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en diciembre y el mínimo 18,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en febrero. Herrera (2019) afirma concentración de material particulado, durante el día. Estos valores se encuentran posiblemente asociados a eventos de quema de biomasa o tránsito intenso.

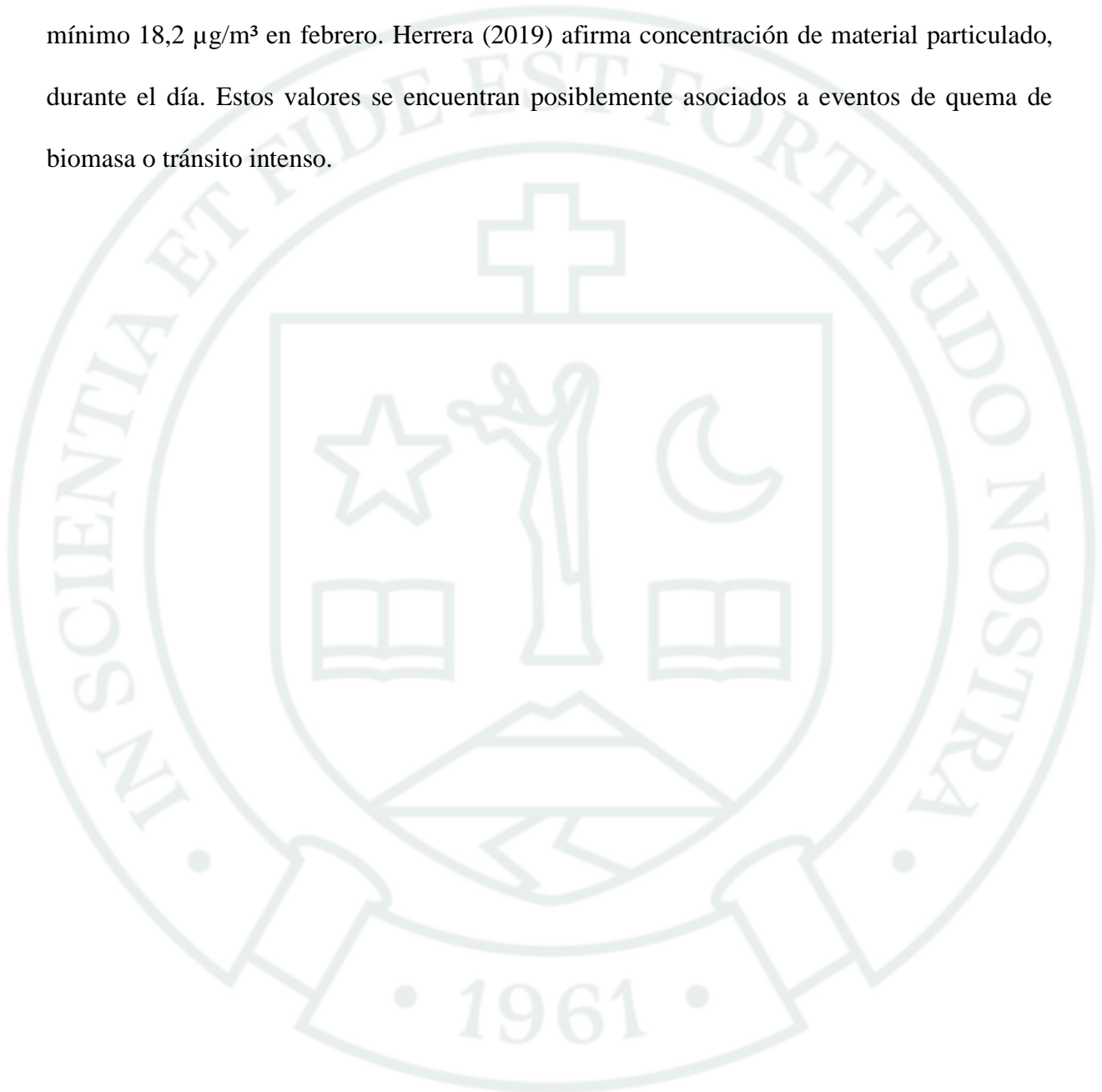


Tabla 14*Valores Diarios y Promedio Mensual de PM₁₀ (µg/m³)*

Marzo del 2024	Unidades (µg/m ³)	Abril del 2024	Unidades (µg/m ³)	Mayo del 2024	Unidades (µg/m ³)	Junio del 2024	Unidades (µg/m ³)
2024-03-01	26.5	2024-04-01	49.8	2024-05-01	61.7	2024-06-01	95.8
2024-03-02	23.3	2024-04-02	69.3	2024-05-02	56.1	2024-06-02	80.1
2024-03-03	23.3	2024-04-03	61.8	2024-05-03	59.3	2024-06-03	
2024-03-04	20.1	2024-04-04	51.8	2024-05-04	52	2024-06-04	
2024-03-05	19.7	2024-04-05	58.6	2024-05-05	58.6	2024-06-05	
2024-03-06	21	2024-04-06	59.2	2024-05-06	81.3	2024-06-06	135.1
2024-03-07	22.8	2024-04-07	45.2	2024-05-07	78.2	2024-06-07	128.6
2024-03-08	27.8	2024-04-08	42.5	2024-05-08	89.3	2024-06-08	104.7
2024-03-09	34.6	2024-04-09	54.9	2024-05-09	86.4	2024-06-09	
2024-03-10	35.1	2024-04-10	65.2	2024-05-10	78.4	2024-06-10	97.3
2024-03-11	41.7	2024-04-11	61.6	2024-05-11	78.3	2024-06-11	107.4
2024-03-12	43.6	2024-04-12	70.2	2024-05-12	73.1	2024-06-12	124.9
2024-03-13	50.2	2024-04-13	68.7	2024-05-13	70.9	2024-06-13	112.4
2024-03-14	58.1	2024-04-14	32.4	2024-05-14	66.7	2024-06-14	114.3
2024-03-15	46.6	2024-04-15	51.9	2024-05-15	71.9	2024-06-15	107.4
2024-03-16	36.8	2024-04-16	96	2024-05-16	73.8	2024-06-16	107.4
2024-03-17	49.8	2024-04-17	82.8	2024-05-17	79.5	2024-06-17	111.8
2024-03-18	33.3	2024-04-18	86.9	2024-05-18	69.6	2024-06-18	106.1
2024-03-19	31.8	2024-04-19	83.2	2024-05-19	62.5	2024-06-19	91.5
2024-03-20	24.7	2024-04-20	83	2024-05-20	92.6	2024-06-20	113
2024-03-21	36	2024-04-21	63.8	2024-05-21	95.3	2024-06-21	112.9
2024-03-22	33.9	2024-04-22	81.5	2024-05-22	90.4	2024-06-22	99.6
2024-03-23	34.4	2024-04-23	70.9	2024-05-23	88.3	2024-06-23	85.2
2024-03-24	38.7	2024-04-24	77.9	2024-05-24	92.2	2024-06-24	103.8
2024-03-25	36.2	2024-04-25	72.6	2024-05-25	86.4	2024-06-25	111.6
2024-03-26	22.7	2024-04-26	78.6	2024-05-26	76.1	2024-06-26	100.9
2024-03-27	19.2	2024-04-27	81.4	2024-05-27	83.4	2024-06-27	98.9
2024-03-28	31.7	2024-04-28	58.9	2024-05-28	102.2	2024-06-28	101
2024-03-29	31.8	2024-04-29	72.3	2024-05-29	99.8	2024-06-29	121.8
2024-03-30	43.9	2024-04-30	69.6	2024-05-30	98.8	2024-06-30	85.6
2024-03-31	41.7			2024-05-31	110		
PROMEDIO MENSUAL	33.6		66.8		79.5		106.1
MAXIMO					135.1 µg/m3		
MINIMO					19.2 µg/m3		

Nota. Datos recopilados de la estación de Monitoreo Ambiental Automática GRIMM EDM 180, instalada en la I.E. Corazón de Jesús – Socabaya (OEFA, 2023–2024).

Durante el mes de marzo se muestra los registros diarios más bajos en todo el periodo evaluado, Sin embargo, a partir de abril se observa una tendencia ascendente sostenida, llegando a obtener un valor promedio de $106,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el mes de junio, pudiendo deberse a posibles incrementos de actividad vehicular y obras civiles en la zona. Herrera (2019) obtuvo diferentes valores de material particulado tomados en mayo y octubre los cuales representan dos épocas diferentes del año, este comportamiento refleja el cambio de estacionalidad. Se pudo encontrar un valor de $135,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ máximo en junio y $19,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mínimo en marzo, confirmando una alta variación en la concentración de PM_{10} debido al cambio de estacionalidad.

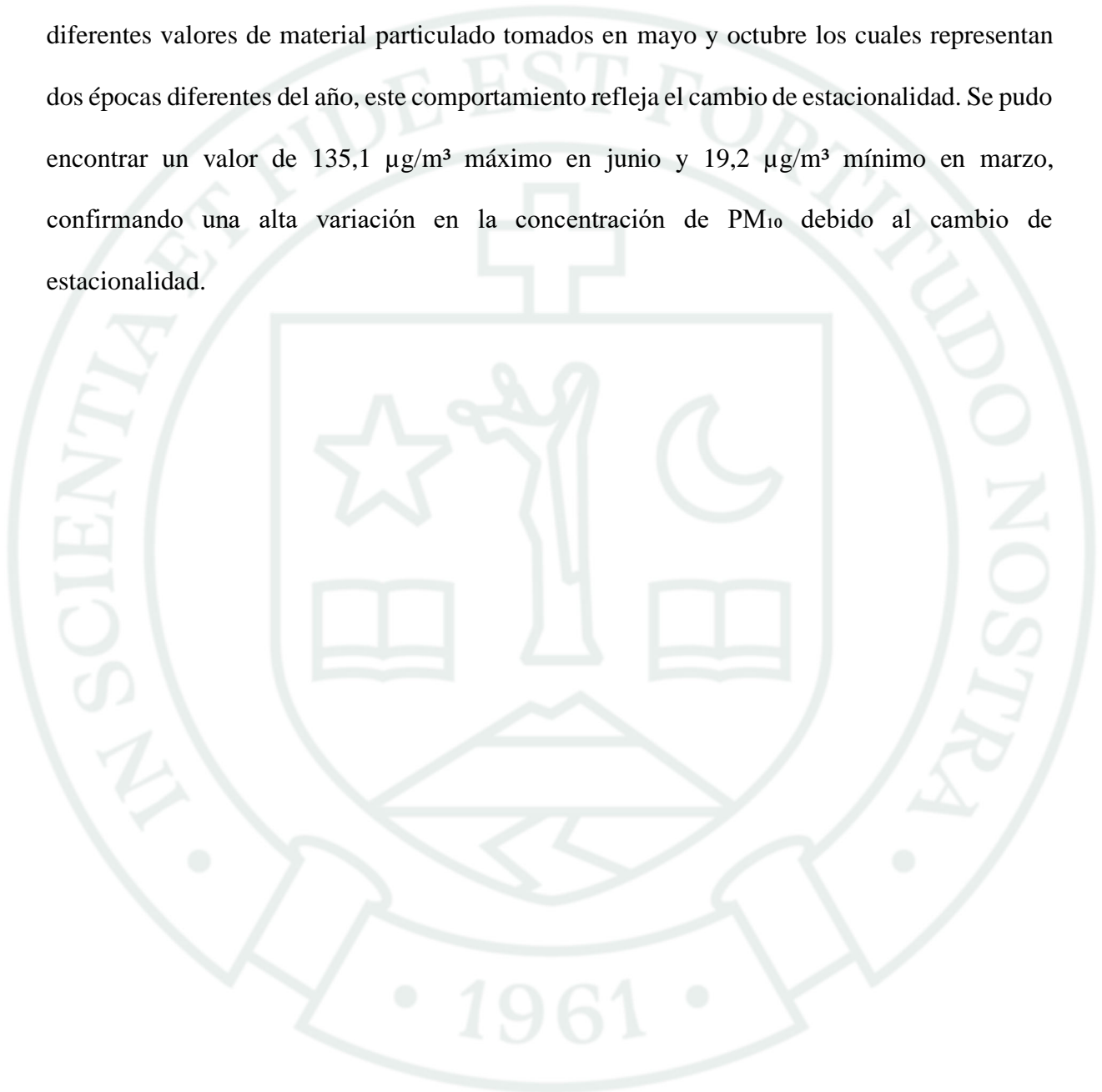


Tabla 15*Valores Diarios y Promedio Mensual de PM2.5 (µg/m³)*

Julio del 2023	Unidades (µg/m³)	Agosto del 2023	Unidades (µg/m³)	Setiembre del 2023	Unidades (µg/m³)	Octubre del 2023	Unidades (µg/m³)
2023-07-01	23.1	2023-08-01	26.2	2023-09-01	26.4	2023-10-01	27.9
2023-07-02	20.2	2023-08-02	23	2023-09-02	28.2	2023-10-02	26.5
2023-07-03	22.5	2023-08-03	23.8	2023-09-03	38	2023-10-03	25.1
2023-07-04	28.4	2023-08-04	29.4	2023-09-04	19.8	2023-10-04	22.7
2023-07-05	24.2	2023-08-05	25.3	2023-09-05	24	2023-10-05	22.5
2023-07-06	25.1	2023-08-06	21.8	2023-09-06	26.5	2023-10-06	26
2023-07-07	27.6	2023-08-07	20.7	2023-09-07	20.9	2023-10-07	27.9
2023-07-08	26.2	2023-08-08	22.4	2023-09-08	19	2023-10-08	26.5
2023-07-09	24.8	2023-08-09	22.9	2023-09-09	20	2023-10-09	23.7
2023-07-10	27.4	2023-08-10	23.6	2023-09-10	15.7	2023-10-10	26.9
2023-07-11	26	2023-08-11	23.9	2023-09-11	19.2	2023-10-11	27
2023-07-12	28.8	2023-08-12	22	2023-09-12	26.6	2023-10-12	22.7
2023-07-13	27.6	2023-08-13	17.5	2023-09-13	24.6	2023-10-13	25.1
2023-07-14	26.3	2023-08-14	20.2	2023-09-14	18.5	2023-10-14	27
2023-07-15	19.9	2023-08-15	17.6	2023-09-15	20.1	2023-10-15	23.8
2023-07-16	22.2	2023-08-16	23.6	2023-09-16	23.5	2023-10-16	25.5
2023-07-17	22.9	2023-08-17	26.6	2023-09-17	21.6	2023-10-17	20.8
2023-07-18	24	2023-08-18	36.7	2023-09-18	23.8	2023-10-18	23
2023-07-19	22.6	2023-08-19	25.6	2023-09-19	23.4	2023-10-19	24.2
2023-07-20	29.8	2023-08-20	18.3	2023-09-20	23.4	2023-10-20	24.5
2023-07-21	26	2023-08-21	24.9	2023-09-21	31.5	2023-10-21	33.1
2023-07-22	23.1	2023-08-22	24	2023-09-22	24.6	2023-10-22	27.7
2023-07-23	29.8	2023-08-23	25.8	2023-09-23	33.5	2023-10-23	29.1
2023-07-24	27.7	2023-08-24	27.2	2023-09-24	26.7	2023-10-24	31
2023-07-25	30.3	2023-08-25	23.1	2023-09-25	18.8	2023-10-25	22.1
2023-07-26	30.4	2023-08-26	21	2023-09-26	25	2023-10-26	20.4
2023-07-27	24.2	2023-08-27	25.9	2023-09-27		2023-10-27	23.2
2023-07-28	23	2023-08-28	25.4	2023-09-28		2023-10-28	25.3
2023-07-29	25	2023-08-29	26.3	2023-09-29	27.9	2023-10-29	17
2023-07-30	24	2023-08-30	22.7	2023-09-30	29.3	2023-10-30	22.5
2023-07-31	24.4	2023-08-31	27.6			2023-10-31	23.1
PROMEDIOMENSUAL	25.4		24		24.3		25
MAXIMO				38 µg/m3			
MINIMO				15.7 µg/m3			

Nota. Datos recopilados de la estación de Monitoreo Ambiental Automática GRIMM EDM 180, instalada en la I.E. Corazón de Jesús – Socabaya (OEFA, 2023–2024).

Según la data recopilada de la estación se puede observar que las partículas finas ($PM_{2.5}$) se mantuvieron estables en este periodo, con valores cercanos a $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Esto es relevante, ya que el $PM_{2.5}$ tiene un mayor impacto en la salud respiratoria y cardiovascular, por la penetración profunda en los pulmones. Se pudo encontrar un valor máximo de $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Setiembre lo cual suele ser producto de combustión, y a su vez un valor mínimo de $15.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el mismo mes. Euribe y Neyra (2023) según las mediciones mensuales que se tomó de los años 2015, 2016, 2019 y 2020 se presenta una variabilidad constante mensual, lo cual indica que siempre existirá una diferencia en los valores con respecto a cada día del mes



Tabla 16*Valores Diarios y Promedio Mensual de PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)*

Noviembre del 2023	Unidades ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Diciembre del 2023	Unidades ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Enero del 2024	Unidades ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Febrero del 2024	Unidades ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
2023-11-01	22.8	2023-12-01	26.5	2024-01-01	25.7	2024-02-01	22.9
2023-11-02	20.6	2023-12-02	23.8	2024-01-02	19	2024-02-02	23.6
2023-11-03	20.9	2023-12-03	19.1	2024-01-03	20.5	2024-02-03	24.7
2023-11-04	22.1	2023-12-04	21.4	2024-01-04	23.1	2024-02-04	20.8
2023-11-05	25.5	2023-12-05	21.5	2024-01-05	19.8	2024-02-05	22.1
2023-11-06	25.7	2023-12-06	22.6	2024-01-06	25.2	2024-02-06	25
2023-11-07	30	2023-12-07	23.8	2024-01-07	24.6	2024-02-07	23.8
2023-11-08	28.1	2023-12-08	24.5	2024-01-08	22.1	2024-02-08	21.8
2023-11-09	23.7	2023-12-09	30.6	2024-01-09	19.8	2024-02-09	20.2
2023-11-10	25.1	2023-12-10	27.5	2024-01-10	23.5	2024-02-10	17.9
2023-11-11	20.1	2023-12-11	25.2	2024-01-11	17.7	2024-02-11	19.5
2023-11-12	18.9	2023-12-12	25.3	2024-01-12	24	2024-02-12	20.1
2023-11-13	18	2023-12-13	28.2	2024-01-13	26.8	2024-02-13	21.9
2023-11-14	22.4	2023-12-14	24.3	2024-01-14	24.8	2024-02-14	17.5
2023-11-15	20.1	2023-12-15	28.6	2024-01-15	22	2024-02-15	20
2023-11-16	14.7	2023-12-16	25.8	2024-01-16	27.4	2024-02-16	20.2
2023-11-17	20.2	2023-12-17	25	2024-01-17	27.2	2024-02-17	20.2
2023-11-18	23.7	2023-12-18	28.7	2024-01-18	20.7	2024-02-18	15.9
2023-11-19	23.6	2023-12-19	30.3	2024-01-19	30.7	2024-02-19	14.7
2023-11-20	24.8	2023-12-20		2024-01-20	29	2024-02-20	15.6
2023-11-21	27.8	2023-12-21	16.7	2024-01-21	20.9	2024-02-21	15.5
2023-11-22	21.2	2023-12-22	24.6	2024-01-22	22.8	2024-02-22	12.5
2023-11-23	22.1	2023-12-23	28.9	2024-01-23	21.9	2024-02-23	16.4
2023-11-24	19.7	2023-12-24	23.3	2024-01-24	27.2	2024-02-24	18.3
2023-11-25	19.6	2023-12-25	19.3	2024-01-25	21	2024-02-25	18.1
2023-11-26	21.5	2023-12-26	25	2024-01-26	17	2024-02-26	15.3
2023-11-27	23.6	2023-12-27	23.4	2024-01-27	19.9	2024-02-27	16.9
2023-11-28	21.1	2023-12-28	15	2024-01-28	20.8	2024-02-28	20.6
2023-11-29	22	2023-12-29	19.2	2024-01-29	18.2	2024-02-29	16.5
2023-11-30	21.1	2023-12-30	27.2	2024-01-30	25.2		
		2023-12-31	27.9	2024-01-31	24.4		
PROMEDIO MENSUAL	22.4		24.4		23		19.3
MAXIMO	30.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$						
MINIMO	12.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$						

Nota. Datos recopilados de la estación de Monitoreo Ambiental Automática GRIMM

Se observa una disminución gradual en febrero donde los valores permanecen cercanos a $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y obteniéndose un promedio mensual de $19.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En este cuatrimestre se observa un máximo de $30,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en enero y mínimo $12,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en febrero. Herrera (2019) evidencia que al comparar las repeticiones de los valores obtenidos por material particulado estas varían de acuerdo a la época del año. Los datos recopilados nos muestran que incluso en estos meses que tienden a ser meses lluviosos pueden darse picos altos, los cuales pueden estar vinculados a emisiones vehiculares concentradas en zonas urbanas y condiciones meteorológicas.

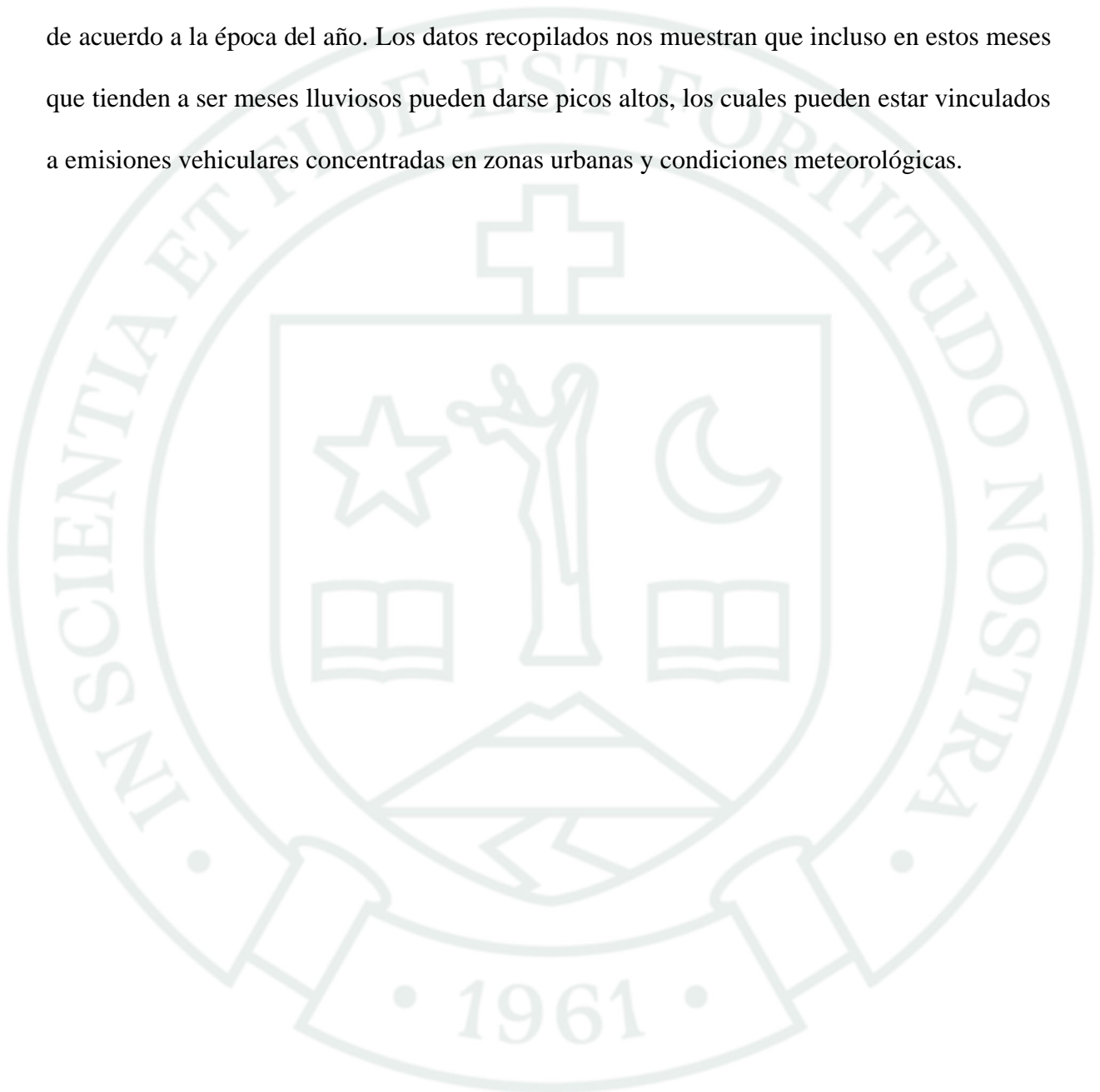


Tabla 17*Valores Diarios y Promedio Mensual de PM2.5 (µg/m³)*

Marzo del 2024	Unidades (µg/m³)	Abril del 2024	Unidades (µg/m³)	Mayo del 2024	Unidades (µg/m³)	Junio del 2024	Unidades (µg/m³)
2024-03-01	12.3	2024-04-01	19.8	2024-05-01	29.6	2024-06-01	23.6
2024-03-02	13	2024-04-02	26.5	2024-05-02	21.3	2024-06-02	26.7
2024-03-03	14.5	2024-04-03	23.7	2024-05-03	26.9	2024-06-03	
2024-03-04	12.6	2024-04-04	23.4	2024-05-04	17.4	2024-06-04	
2024-03-05	12.8	2024-04-05	26.7	2024-05-05	23	2024-06-05	
2024-03-06	12.9	2024-04-06	28.4	2024-05-06	24.5	2024-06-06	37.5
2024-03-07	15.2	2024-04-07	21.4	2024-05-07	22.3	2024-06-07	34.2
2024-03-08	13.5	2024-04-08	20.4	2024-05-08	23.9	2024-06-08	29.9
2024-03-09	16.9	2024-04-09	21.6	2024-05-09	24.3	2024-06-09	
2024-03-10	16.8	2024-04-10	26.3	2024-05-10	25.5	2024-06-10	27.4
2024-03-11	17.3	2024-04-11	23.7	2024-05-11	26.2	2024-06-11	32.4
2024-03-12	16.5	2024-04-12	26.4	2024-05-12	29.3	2024-06-12	30.3
2024-03-13	20.3	2024-04-13	31.1	2024-05-13	23.4	2024-06-13	29.5
2024-03-14	23.1	2024-04-14	19.4	2024-05-14	24.5	2024-06-14	30.1
2024-03-15	20.5	2024-04-15	24.8	2024-05-15	30.5	2024-06-15	29
2024-03-16	18.9	2024-04-16	30	2024-05-16	24.8	2024-06-16	32
2024-03-17	22.4	2024-04-17	25	2024-05-17	20.6	2024-06-17	34.2
2024-03-18	15.4	2024-04-18	27	2024-05-18	18.9	2024-06-18	28.6
2024-03-19	15.9	2024-04-19	27.4	2024-05-19	16.4	2024-06-19	25.8
2024-03-20	15.9	2024-04-20	27.5	2024-05-20	19.6	2024-06-20	33
2024-03-21	19	2024-04-21	29.9	2024-05-21	19.9	2024-06-21	31.9
2024-03-22	20.2	2024-04-22	35.1	2024-05-22	20	2024-06-22	25.5
2024-03-23	16.5	2024-04-23	27.7	2024-05-23	21	2024-06-23	24.7
2024-03-24	19.1	2024-04-24	28.5	2024-05-24	21.8	2024-06-24	29.4
2024-03-25	16.6	2024-04-25	25.4	2024-05-25	22.8	2024-06-25	29.4
2024-03-26	11.7	2024-04-26	27.6	2024-05-26	23.3	2024-06-26	25
2024-03-27	12.1	2024-04-27	29.6	2024-05-27	20.7	2024-06-27	27.5
2024-03-28	16.3	2024-04-28	25.8	2024-05-28	23.5	2024-06-28	28.6
2024-03-29	15.6	2024-04-29	28.6	2024-05-29	23	2024-06-29	31.7
2024-03-30	21.1	2024-04-30	26.4	2024-05-30	25.9	2024-06-30	22.7
2024-03-31	21.2			2024-05-31	26.4		
PROMEDIO MENSUAL	16.6		26.2		23.3		29.3
MAXIMO					37.5 µg/m3		
MINIMO					11.7 µg/m3		

Nota. Datos recopilados de la estación de Monitoreo Ambiental Automática GRIMM

En marzo, el promedio de la concentración se encuentra en el valor más bajo de la serie analizada, con 16.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Sin embargo, para los meses de abril, mayo y junio, se aprecia un incremento progresivo en ambos, los niveles diarios y el promedio mensual de concentración. Este incremento es más pronunciado en el mes de junio, en el que se encuentran los máximos diarios de la serie de estudio.

De la misma forma, se observará un máximo de 37,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en junio y un mínimo de 11,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en marzo. Estos extremos son un reflejo de los cambios estacionales en la concentración de partículas en el aire. En este sentido, Euribe y Neyra (2023) al referirse a los niveles de PM2.5 en años evaluativos de diferentes años, resaltan que existen años en los que se dan concentraciones más altas, lo que evidencia la influencia de Múltiples factores, ya sean ambientales o de la meteorología, sobre la concentración de este contaminante.

4.2. Resultados del Índice Nacional de Calidad de Aire (INCA) y AQI

Permiten entender los resultados de manera más clara, ya que categorizan la concentración de contaminantes en rangos que ejemplifican su potencial impacto en la salud de la población y el medio ambiente. En este sentido, se presentan los resultados para el distrito de Socabaya, teniendo en cuenta los valores medidos de contaminantes atmosféricos, que fueron analizados utilizando los índices INCA y AQI con el fin de evaluar la calidad del aire en el área de estudio.

4.2.1. Índice Nacional de Calidad de Aire (INCA) en época lluviosa

Tabla 18

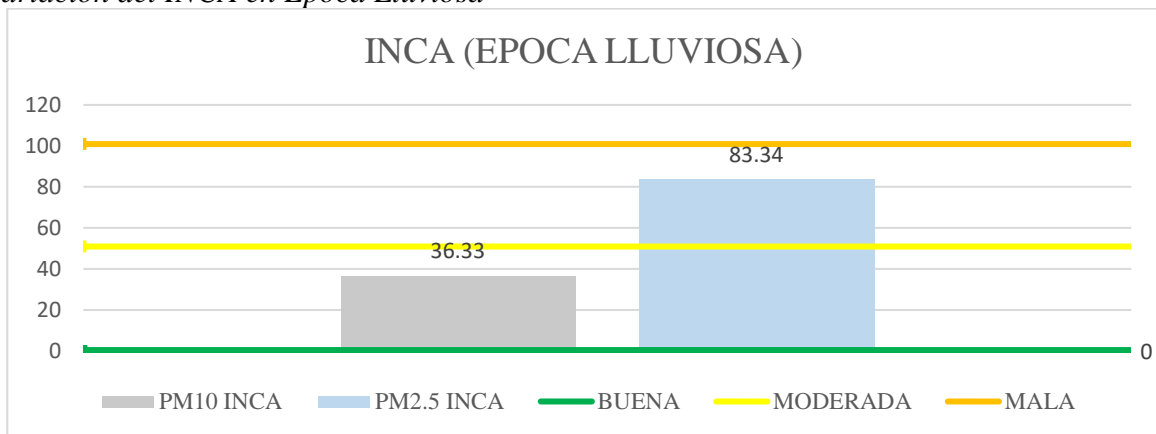
Valores Obtenidos para INCA en Época Lluviosa

INCA (EPOCA LLUVIOSA)		
PM10	36.33	BUENA
PM2.5	83.34	MODERADA

Nota. Elaboración Propia

Figura 6

Variación del INCA en Época Lluviosa



Nota. Elaboración Propia

Según la tabla N.º 18 y su figura N.º 6, los parámetros óptimos ponderados a nivel de INCA, durante la época lluviosa, se encuentran en la categoría de Buena a Moderada. Esto significa que, durante la época lluviosa, el impacto de los PM10 en la calidad de la atmósfera es baja.

Refiriéndose a la calidad de la atmósfera, Calampa (2015) menciona que, en general las lluvias ayudan a la dispersión y remoción de todas las partículas en suspensión. Las gotas de lluvia arrastran las partículas que están suspendidas en la atmósfera y las llevan a la superficie de la tierra. Este tipo de lluvias naturales ayudan a que durante épocas lluviosas la cantidad de partículas en el aire disminuya.

Dentro del rango de Moderada, se encuentran los PM2.5 a los que se clasifican como más peligrosos que los PM10 por el hecho de tener un tamaño mucho más pequeño y, por lo tanto, difícil de eliminar por los mecanismos de lluvias que aminoran la calidad del aire. Por su tamaño que afecta el equilibrio de los fluidos en la atmósfera, las partículas PM2.5 continúan en la atmósfera a pesar de las lluvias.

4.2.2. Índice Nacional de Calidad de Aire (INCA) en época seca

Tabla 19

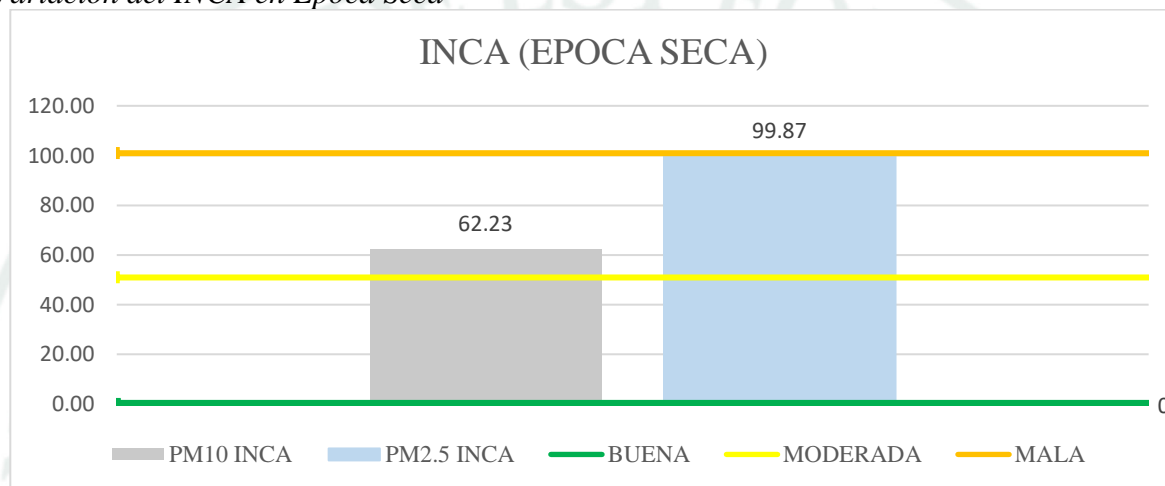
Valores Obtenidos para ICA-PE en Época Seca

INCA (EPOCA SECA)		
PM10	62.23	MODERADA
PM2.5	99.87	MODERADA

Nota. Elaboración Propia

Figura 7

Variación del INCA en Época Seca



Nota. Elaboración Propia

Con base en los resultados del Índice Nacional de Calidad del Aire INCA, en época seca se clasifica la calidad del aire de los parámetros PM10 (62.23) y PM2.5 (99.87) en la categoría Moderada. Ambos valores se encuentran en el intervalo de 51 a 100, conforme a los criterios de la metodología del índice. Estos resultados muestran un deterioro en la calidad del aire en comparación con la época de lluvias, mostrando la concentración de material particulado en la época seca de estos parámetros. Montoya et al. (2013) mencionan que el aumento de la temperatura ambiental puede favorecer el incremento de contaminación del aire, lo que se suma a la concentración de PM10 y PM2.5.

En la época seca, la lluvia casi no se presenta o se reduce, lo cual limita la limpieza natural de la atmósfera, permitiendo que se acumule el polvo en el aire por períodos de tiempo más prolongados. También, en ciertas áreas, se suelen realizar actividades agrícolas que

comprenden la quema de residuos vegetales, práctica que también contribuye al aumento de partículas contaminantes en la atmósfera.

4.2.3. Índice Nacional de Calidad de Aire (INCA) para PM₁₀

Tabla 20

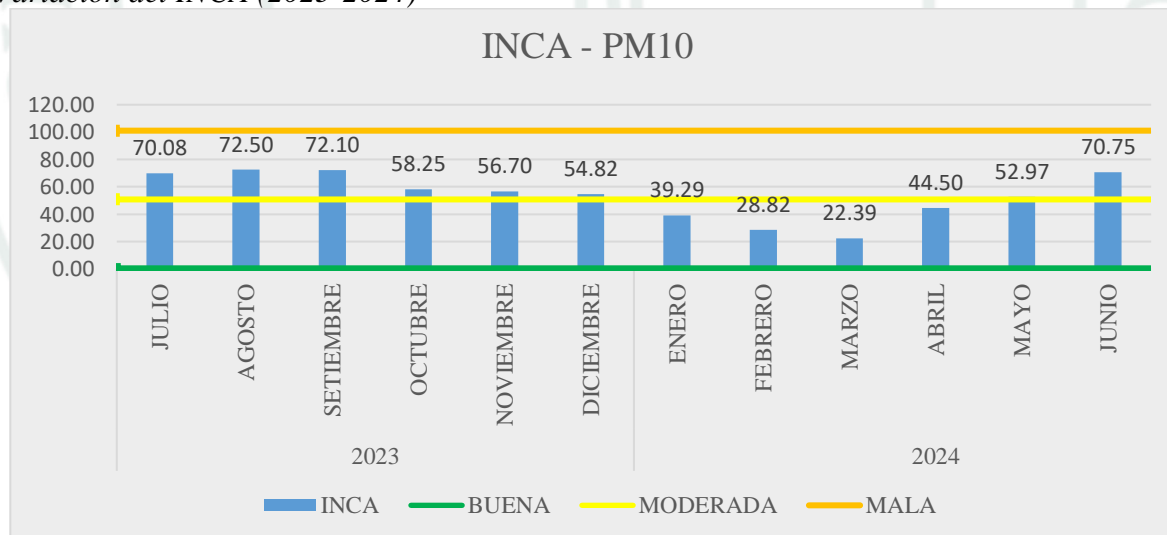
Valores Obtenidos para INCA – PM₁₀

PERIODO	MESES		INCA
2023	Julio	70.08	MODERADA
	Agosto	72.50	MODERADA
	Setiembre	72.10	MODERADA
	Octubre	58.25	MODERADA
	Noviembre	56.70	MODERADA
	Diciembre	54.82	MODERADA
2024	Enero	39.29	BUENA
	Febrero	28.82	BUENA
	Marzo	22.39	BUENA
	Abril	44.50	BUENA
	Mayo	52.97	MODERADA
	Junio	70.75	MODERADA
	ANUAL	53.60	MODERADA

Nota. Elaboración Propia

Figura 8

Variación del INCA (2023-2024)



Nota. Elaboración Propia

Según los resultados obtenidos para PM₁₀ nos indica que en los meses de Enero, Febrero, Marzo y Abril la calidad de aire se encuentra en una categoría de “Buena”, mientras que para los meses de Julio a Diciembre del 2023 y Mayo a Junio del 2024 presentan valores de INCA en la categoría de “Moderada”. Al igual que Dextre (2016) en su periodo evaluado se

muestra que, es más común que el polvo y otros contaminantes en suspensión aumenten en un periodo evaluado el cual corresponda a un mes seco. Esto sugiere también una variación estacional en la calidad del aire, la cual es influenciada por factores climáticos o actividades humanas que cambian a lo largo del año.

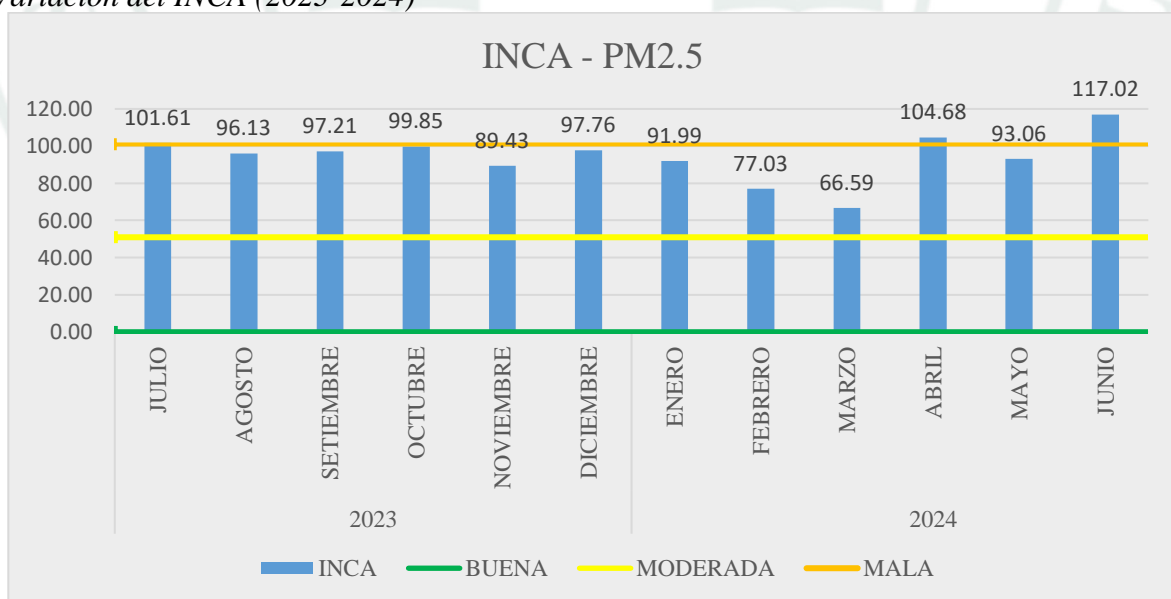
4.2.4. Índice Nacional de Calidad de Aire (INCA) para PM_{2.5}

Tabla 21
Valores Obtenidos para INCA - PM_{2.5}

PERIODO	MESES	INCA	
2023	Julio	101.61	MALA
	Agosto	96.13	MODERADA
	Setiembre	97.21	MODERADA
	Octubre	99.85	MODERADA
	Noviembre	89.43	MODERADA
	Diciembre	97.76	MODERADA
2024	Enero	91.99	MODERADA
	Febrero	77.03	MODERADA
	Marzo	66.59	MODERADA
	Abril	104.68	MALA
	Mayo	93.06	MODERADA
	Junio	117.02	MALA
	ANUAL	94.36	MODERADA

Nota. Elaboración Propia

Figura 9
Variación del INCA (2023-2024)



Nota. Elaboración Propia

Según los resultados para PM_{2.5}, se observa que, en los meses como Julio de 2023, y en Abril y Junio de 2024, el índice alcanza niveles considerados como "Mala" calidad del aire, superando los límites de la categoría "Moderada", lo cual nos indica que ya representa un riesgo para la salud de toda la población, asimismo nos indica que existen otros factores puntuales en el aumento de PM_{2.5}. Warthon et al. (2024) menciona que el aumento de las concentraciones está relacionado con el tránsito vehicular y al aumento de actividades antropogénicas que repercuten en dicho incremento.

4.2.5. Resultados del AQI en época lluviosa

Tabla 22

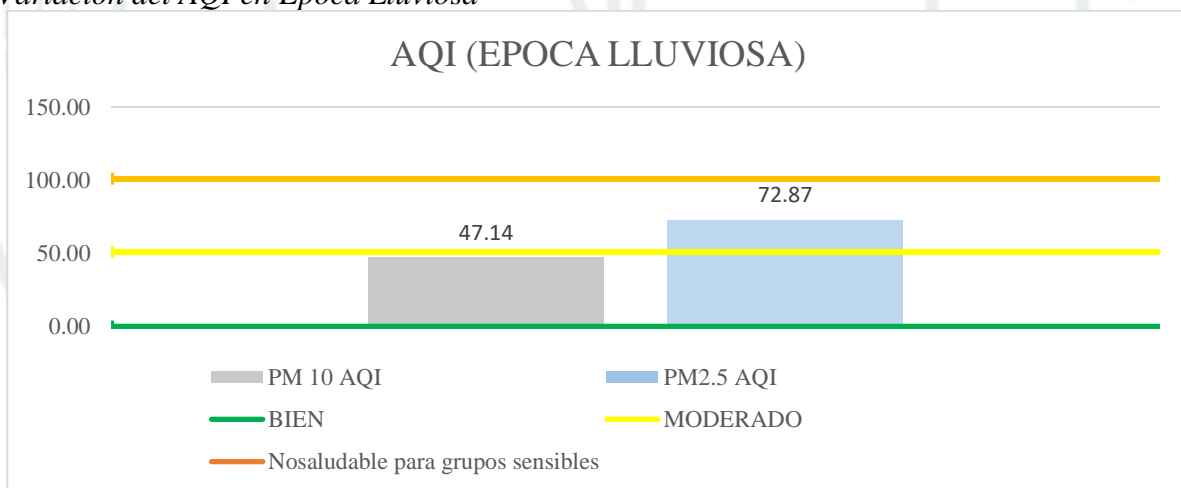
Valores Obtenidos para AQI en Época Lluviosa

AQI (EPOCA LLUVIOSA)		
PM10	47.14	BIEN
PM2.5	72.87	MODERADA

Nota. Elaboración Propia

Figura 10

Variación del AQI en Época Lluviosa



Nota. Elaboración Propia

El AQI en la época de lluvias mostró 47.14 para PM10 y 72.87 para PM2.5. Con base en las clasificaciones de este índice, el PM10 se encuentra en la categoría de "Bien", lo que significa que en esa época de lluvias hay escasos peligros de contaminación en el aire que pueden afectar la salud de las personas. En el caso de PM 2.5, se encuentra en la categoría "Moderado", lo que significa que, aun aceptando la calidad del aire, la exposición de personas

con problemas respiratorios o del corazón, puede resultar en un deterioro de su salud. Esto se explica porque en la época de lluvias, la lluvia hace que las partículas que están en el aire caigan al suelo y no queden suspendidas en el aire y por lo tanto haya una menor concentración de ellas en el aire, como lo describe Calampa (2015).

Además, la consistencia entre ambos índices da mayor solidez a los resultados ya que en ambas metodologías coinciden que el PM_{2.5} presenta un nivel de “Moderado” en época lluviosa, donde podemos afirmar que el material particulado PM_{2.5} puede permanecer en concentraciones lo suficientemente elevadas como para representar riesgos a la salud en poblaciones vulnerables.

4.2.6. Resultados del AQI en época seca

Tabla 23

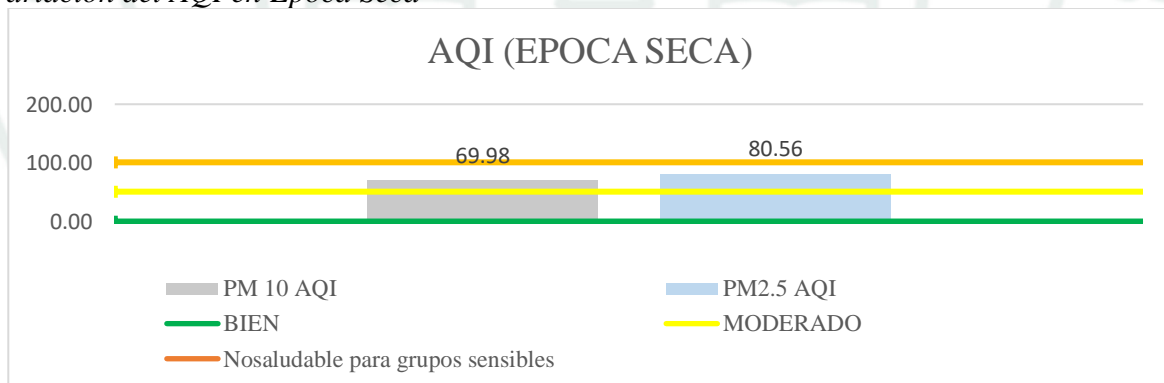
Valores Obtenidos para AQI en Época Seca

	AQI (EPOCA SECA)	
PM10	69.98	MODERADO
PM2.5	80.56	MODERADO

Nota. Elaboración Propia

Figura 11

Variación del AQI en Época Seca



Nota. Elaboración Propia

Se obtuvieron resultados que mostraron que ambas cifras se ubican en la categoría de “Moderado”. Esto indica que la calidad puede ser aceptable, aunque con probables efectos que afecten a grupos sensibles de la población. Además, siendo la época seca, la falta de lluvias, normalmente ayuda a que se acumulen o barran las partículas de la atmósfera, hace que las

concentraciones de PM10 y PM2.5 sean más altas que durante la época lluviosa. También, en esta época, las partículas en el aire tienden a acumularse más por las condiciones meteorológicas que son menos óptimas. En este sentido, Montoya et al. (2013) explican que la humedad, el viento y la lluvia son factores que ayudan a disminuir el material particulado en el aire. Por lo tanto, durante la época seca, la acumulación de partículas en el aire se incrementa.

4.2.7. AQI para PM10

Tabla 24

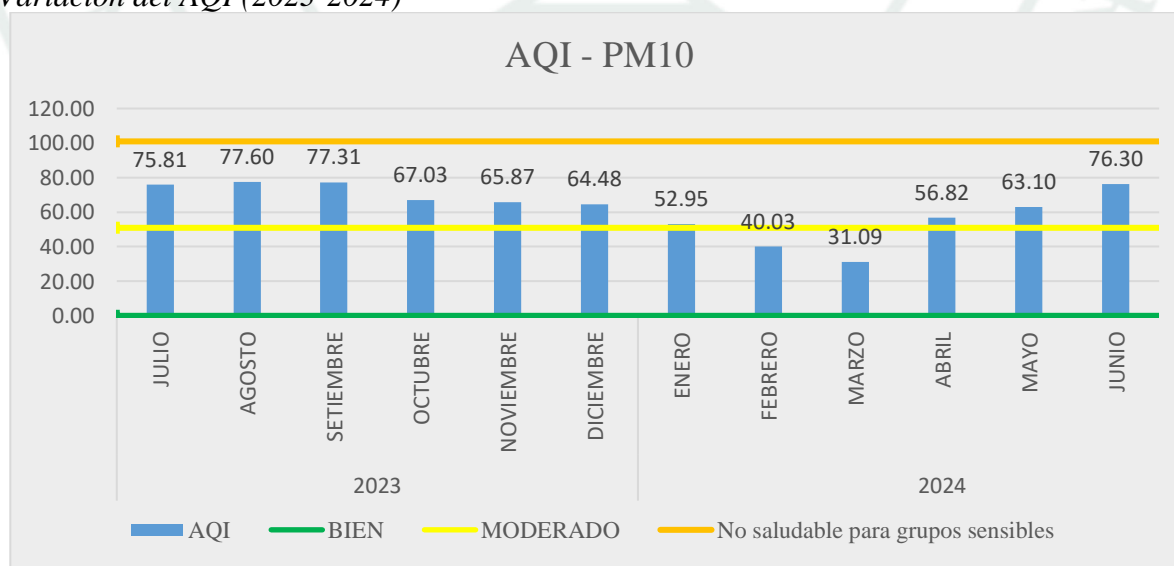
Valores Obtenidos para AQI

PERIODO	MESES	AQI	
2023	Julio	75.81	MODERADO
	Agosto	77.60	MODERADO
	Setiembre	77.31	MODERADO
	Octubre	67.03	MODERADO
	Noviembre	65.87	MODERADO
	Diciembre	64.48	MODERADO
2024	Enero	52.95	MODERADO
	Febrero	40.03	BIEN
	Marzo	31.09	BIEN
	Abril	56.82	MODERADO
	Mayo	63.10	MODERADO
	Junio	76.30	MODERADO
ANUAL		62.37	MODERADO

Nota. Elaboración Propia

Figura 12

Variación del AQI (2023-2024)



Nota. Elaboración Propia.

Los resultados obtenidos nos muestran que para PM₁₀ solamente en febrero y marzo se obtuvo una calidad de aire “Bien”, la cual nos indica que para estos meses la concentración de PM₁₀ fue baja y sin riesgos significativos. Por otro lado, el resto de meses presentan una calidad de aire de “Moderado”. Dextre (2016) en su investigación encontró valores elevados en el mes de mayo debido a la falta de lluvia la cual reduciría la concentración de partículas. La mejora corresponde a que se encuentran en un periodo de lluvias.

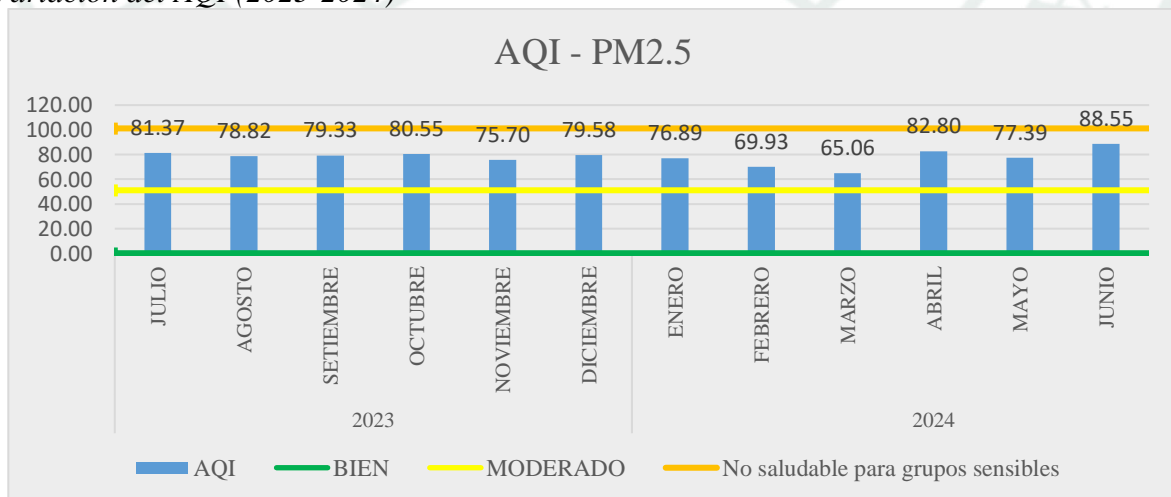
4.2.8. AQI para PM_{2.5}

Tabla 25
Valores Obtenidos para AQI

PERIODO	MESES		AQI
2023	Julio	81.37	MODERADO
	Agosto	78.82	MODERADO
	Setiembre	79.33	MODERADO
	Octubre	80.55	MODERADO
	Noviembre	75.70	MODERADO
	Diciembre	79.58	MODERADO
2024	Enero	76.89	MODERADO
	Febrero	69.93	MODERADO
	Marzo	65.06	MODERADO
	Abril	82.80	MODERADO
	Mayo	77.39	MODERADO
	Junio	88.55	MODERADO
	ANUAL	78.00	MODERADO

Nota. Elaboración Propia

Figura 13
Variación del AQI (2023-2024)



Nota. Elaboración Propia

Mediante el resultado de la investigación, el valor asignado al AQI, para el PM2.5 se encuentra en la categoría “Moderado”, esto significa que la calidad del aire puede significar riesgo para algunos miembros de la población, en especial para grupos sensibles. También, se detectó que el mes de junio tuvo la mayor cantidad de PM2.5, en un valor de 88.55, mientras que el mes de marzo tuvo el valor más bajo, con 65.06.

Luego de analizar los resultados, se puede apreciar que las cantidades de PM2.5 en el aire fluctuaron en baja proporción en el tiempo, lo que explica que durante ese tiempo el PM2.5 fue de una calidad el aire que fue seca, al menos durante el período. Analizando la data relatando con los resultados, Dalens et al. (2022) en un estudio enfocado hacia el análisis de las concentraciones de PM2.5 han declarado que el comportamiento del viento y la concentración particulada puede diferir en el tiempo. Y también, han tenido que decir que las condiciones del tiempo son un elemento que define los niveles de PM2.5 que se encuentran, ya que estas influyen la dispersión y acumulación de los PM2.5 en el aire.

4.3. Resultados del cumplimiento de los ECA

4.3.1. Material Particulado PM₁₀

Tabla 26

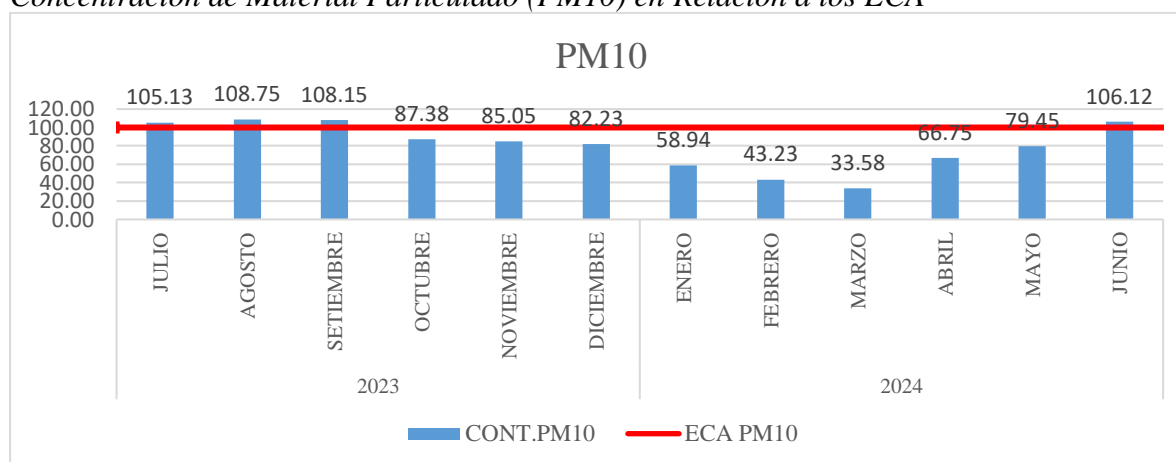
Concentración de Material Particulado (PM₁₀) en Relación a los ECA

TAMAÑO PARTÍCULA	PERIODO	MESES	CONCENTRACIONES PROMEDIOS(μG/M ³)	ECA (μG/M ³)
PM 10	2023	Julio	105.13	100
PM 10		Agosto	108.75	100
PM 10		Setiembre	108.15	100
PM 10		Octubre	87.38	100
PM 10		Noviembre	85.05	100
PM 10		Diciembre	82.23	100
PM 10		2024	Enero	58.94
PM 10	Febrero		43.23	100
PM 10	Marzo		33.58	100
PM 10	Abril		66.75	100
PM 10	Mayo		79.45	100
PM 10	Junio		106.12	100

Nota. Elaboración Propia

Figura 14

Concentración de Material Particulado (PM10) en Relación a los ECA



Nota. Elaboración Propia.

Según los resultados obtenidos observamos que, en varios meses, las concentraciones de PM₁₀ superan el límite de 100 ug/m³ establecido por el ECA, en los meses de Julio, Agosto, Setiembre (2023) y en Junio (2024). Basándonos en dichos meses, estos coinciden con la época seca, caracterizado por la ausencia de precipitaciones, por otro lado, se debe considerar las actividades antropogénicas de dicha zona de estudio como la quema de residuos agrícolas, el aumento del tránsito vehicular y obras de construcción civil las cuales se intensifican durante la época seca. Sánchez et al. (2022) señala que la variación de valores de PM₁₀ no tienen una tendencia lineal por lo cual los valores ascienden y descienden debido a los factores meteorológicos, asimismo este comportamiento se puede explicar principalmente por las características climáticas de la región ya que en los meses en los cuales sobrepasa la norma las condiciones climáticas presentes favorecen en el incremento de concentraciones de material particulado. Por otro lado, en base a reportes de la Gerencia Regional de Salud de Arequipa evidencian incrementos en los casos de infecciones respiratorias agudas (IRA) en periodos en los cuales sobrepasa la norma, lo que sugiere una posible asociación entre los niveles de PM₁₀ y la afectación de la salud de la población.

4.3.2. Material Particulado PM_{2.5}

Tabla 27

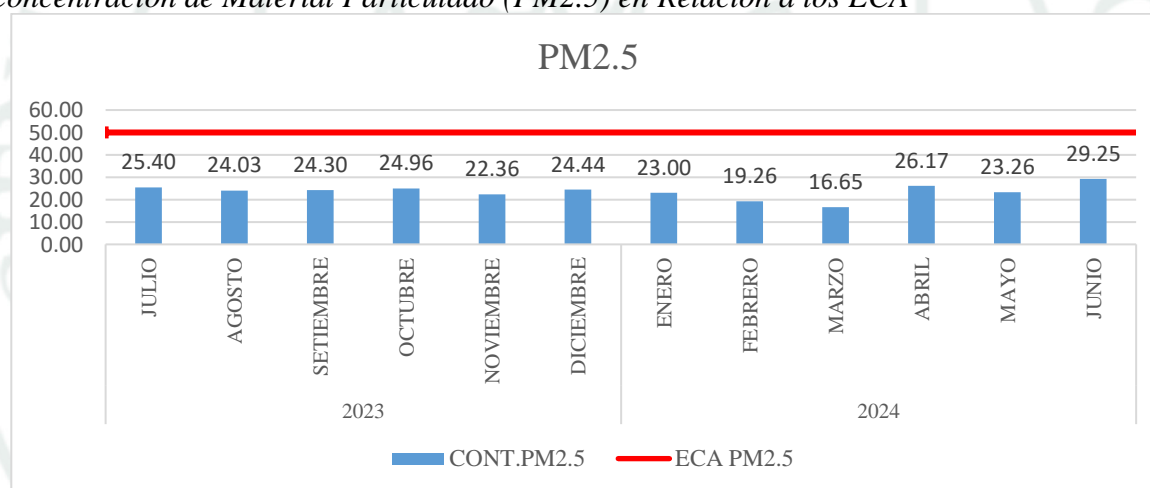
Concentración de Material Particulado (PM_{2.5}) en Relación a los ECA

TAMAÑO PARTICULA	PERIODO	MESES	CONCENTRACIONES PROMEDIOS(μG/M ³)	ECA (μG/M ³)
PM 2.5	2023	Julio	25.40	50
PM 2.5		Agosto	24.03	50
PM 2.5		Setiembre	24.30	50
PM 2.5		Octubre	24.96	50
PM 2.5		Noviembre	22.36	50
PM 2.5		Diciembre	24.44	50
PM 2.5	2024	Enero	23.00	50
PM 2.5		Febrero	19.26	50
PM 2.5		Marzo	16.65	50
PM 2.5		Abril	26.17	50
PM 2.5		Mayo	23.26	50
PM 2.5		Junio	29.25	50

Nota. Elaboración Propia

Figura 15

Concentración de Material Particulado (PM_{2.5}) en Relación a los ECA



Nota. Elaboración Propia.

Con referencia al parámetro PM_{2.5}, la muestra revela que, durante la evaluación de 12 meses, la concentración registrada no supera el nivel establecido por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), que es de 50 μg/m³. Esto muestra que, durante el análisis, la concentración de PM_{2.5} cumple con la normativa. Además, los datos obtenidos en la investigación, muestran que, en los meses evaluados, la concentración de PM_{2.5}, en su mayoría, no se presenta ni estable ni súbitamente. Con respecto a esto, Ahuanari y Mozombite (2019), en su investigación, estableció que, en la mayoría de los ambientes con flujo vehicular y con maquinaria, los

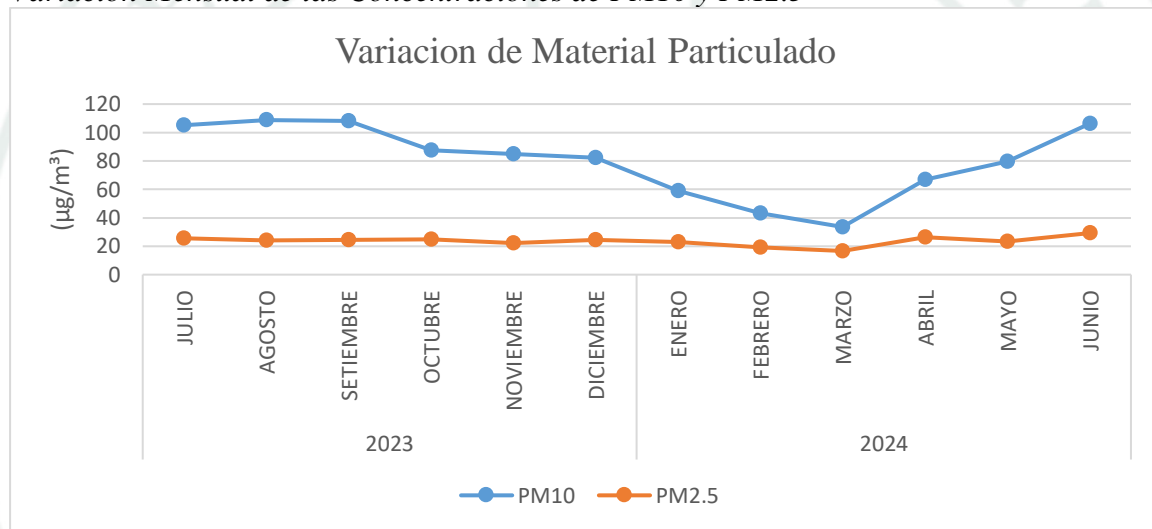
Estándares de Calidad Ambiental son sobrepasados, debido a que los vehículos emiten gases y partículas contaminantes. Este comportamiento puede explicarse debido a la naturaleza del material particulado fino $PM_{2.5}$, el cual se encuentra asociado a procesos de combustión. En el área de estudio, la ausencia de fuentes puntuales intensas ya sea industrias o un flujo vehicular elevado limita la generación significativa de este tipo de partículas.

4.4. Resultados de la evolución mensual de la calidad del aire

4.4.1. Variación de las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$

Figura 16

Variación Mensual de las Concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$



Nota. Elaboración Propia.

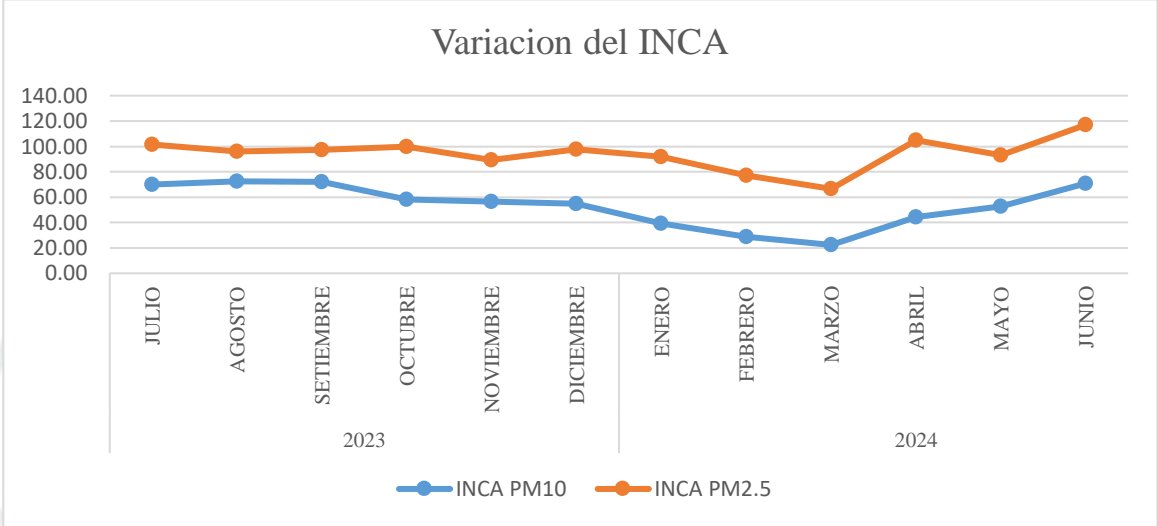
El análisis de las concentraciones de PM_{10} entre julio de 2023 y junio de 2024 muestra fluctuaciones considerables. Los mayores picos fueron entre julio y septiembre de 2023 y de nuevo de mayo a junio de 2024 con más de $100\mu\text{g}/\text{m}^3$. En contraste, de enero a marzo de 2024 se presentó una baja concentración de PM_{10} , con febrero siendo el mes con menor concentración de PM_{10} . Esto se podría explicar debido a las precipitaciones de este mes, favoreciendo la captura de partículas en las precipitaciones y, haciendo la atmósfera menos polvorienta.

Las concentraciones de $PM_{2.5}$, por otro lado, permanecieron relativamente estables a lo largo del tiempo medido, sin notar cambios abruptos o fluctuaciones significativas. Los

valores registrados permanecieron en el rango estrecho de 20 a 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con pequeños cambios en abril y junio de 2024 siendo los meses con los mayores aumentos en este período

4.4.2. Variación del INCA para PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$

Figura 17
Variación Mensual del INCA para PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$



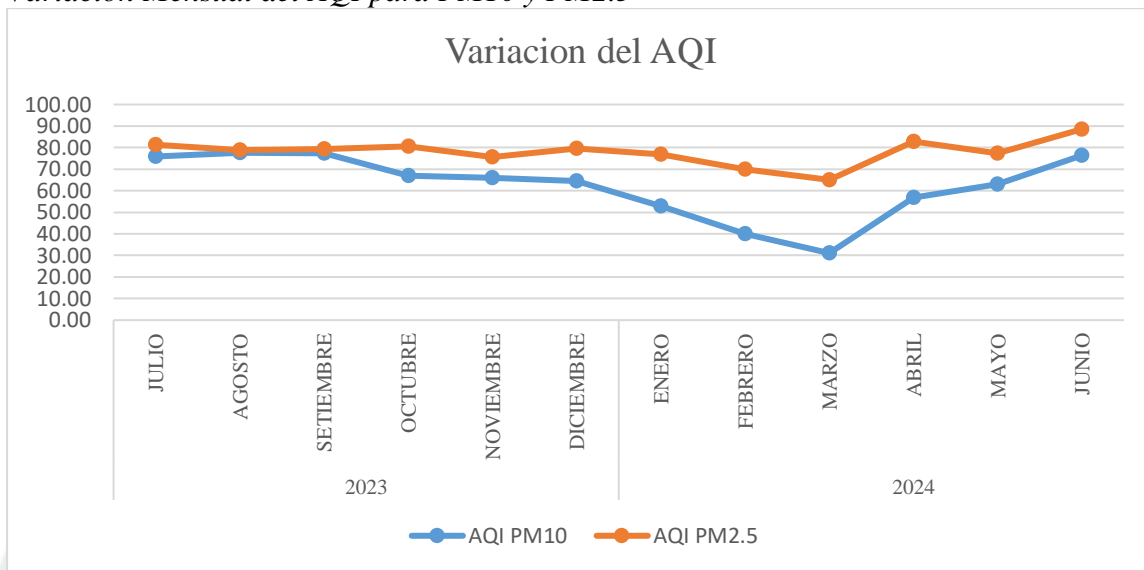
Nota. Elaboración Propia

Según la gráfica lineal la variación mensual del INCA PM_{10} presenta ligeras variaciones, pero sin un incremento tan marcado como el $\text{PM}_{2.5}$. Los valores del INCA para $\text{PM}_{2.5}$ son consistentemente más altos que los de PM_{10} a lo largo del periodo, indicando que el $\text{PM}_{2.5}$ tiene un mayor impacto en la calidad del aire, lo cual representa una mayor amenaza a la calidad del aire. Por otro lado, la relativa estabilidad de los niveles de PM_{10} indica que las fuentes de este tipo de material particulado no tienen una variación muy significativa conforme transcurren los meses.

4.4.3. Variación del AQI para PM₁₀ y PM_{2.5}

Figura 18

Variación Mensual del AQI para PM₁₀ y PM_{2.5}



Nota. Elaboración Propia

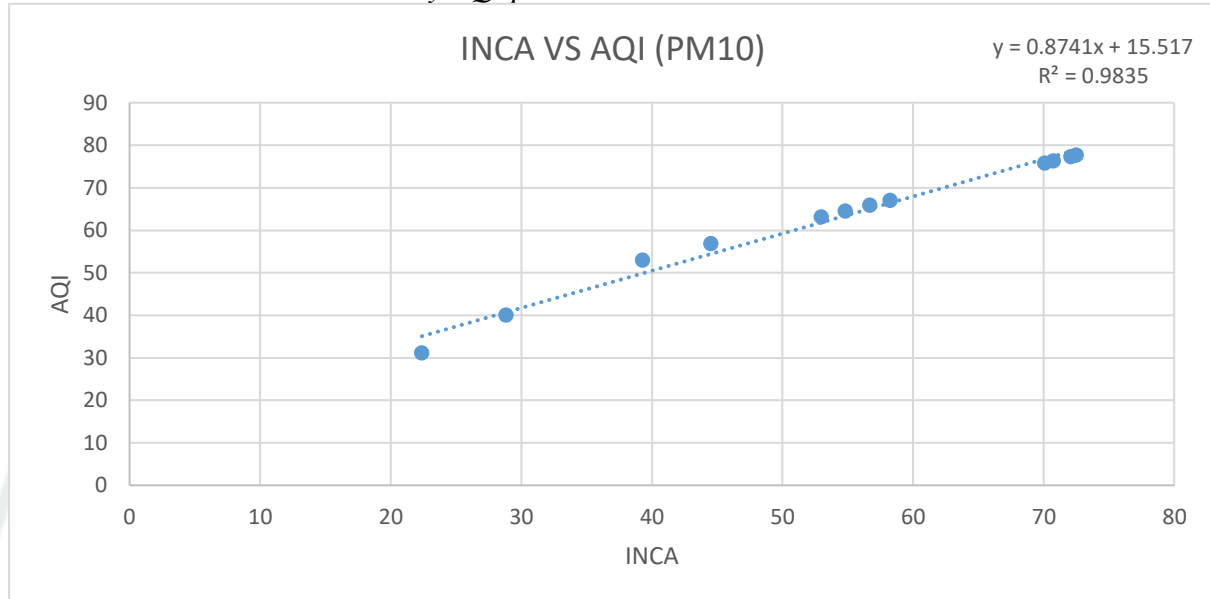
Según el gráfico de variación mensual del AQI para PM₁₀ y PM_{2.5} observamos que para PM₁₀ muestra una tendencia descendente significativa desde Julio de 2023 hasta marzo de 2024, donde alcanza su valor más bajo. Para PM_{2.5} observamos que los valores en general se mantienen más altos y estables en comparación con PM₁₀, asimismo vemos que también presenta un ligero aumento a partir de abril de 2024. El AQI para PM₁₀ disminuye de forma significativa desde diciembre hasta marzo, lo cual podría estar relacionado a condiciones climáticas que favorecen el descenso durante esos meses.

4.5. Análisis estadístico de la relación entre INCA y AQI

4.5.1. Regresión lineal entre los índices INCA y AQI

Figura 19

Relación entre los índices INCA y AQI para PM10



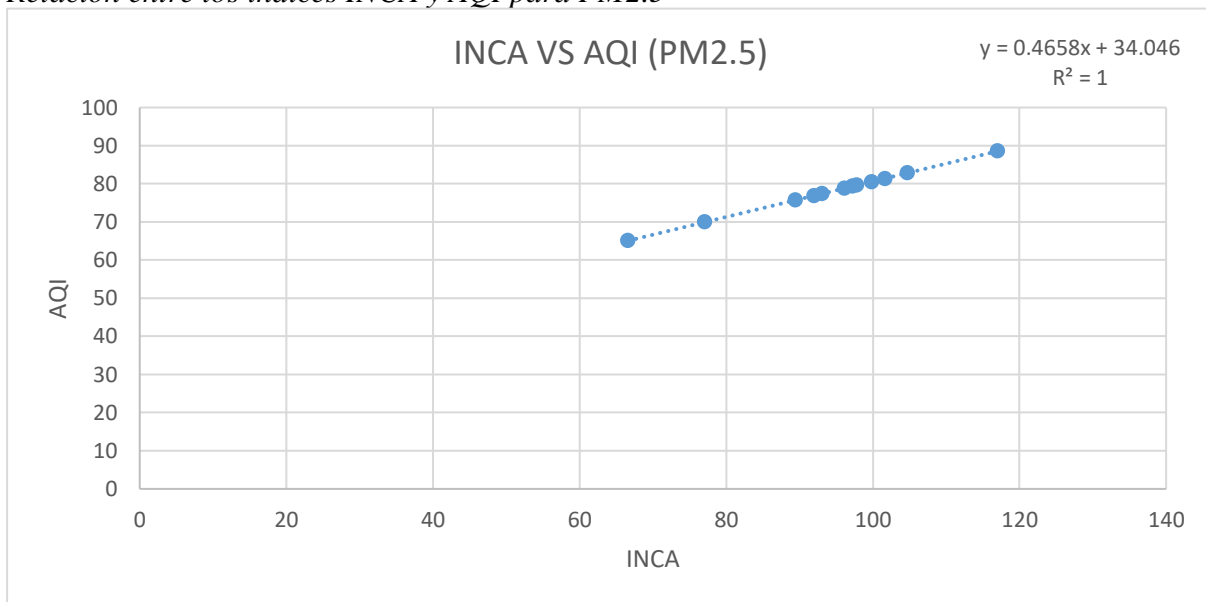
Nota. Elaboración Propia

Se observa una relación lineal positiva entre ambos índices, lo cual nos indica que a medida que el INCA aumenta, el AQI también presenta relativamente un incremento. Para PM₁₀, el coeficiente de determinación ($R^2=0.9835$) evidencia una correlación muy alta, lo que por consiguiente nos indica que el 98.35% de la variabilidad del AQI puede ser explicada por los valores del INCA. Mediante la siguiente grafica se demuestra que ambos índices presentan un comportamiento altamente consistente en la evaluación de la calidad del aire.

La pendiente positiva confirma que ambos índices responden de forma similar ante los cambios que se puedan presentar en las concentraciones de PM₁₀. De este modo los resultados obtenidos validan la aplicabilidad de ambos índices como herramientas para la evaluación de la calidad del aire, denotando que a pesar que exista diferencias en cuanto a su metodología en los índices evaluados se presenta una alta concordancia en la clasificación de los niveles de contaminación.

Figura 20

Relación entre los índices INCA y AQI para PM_{2.5}



Nota. Elaboración Propia

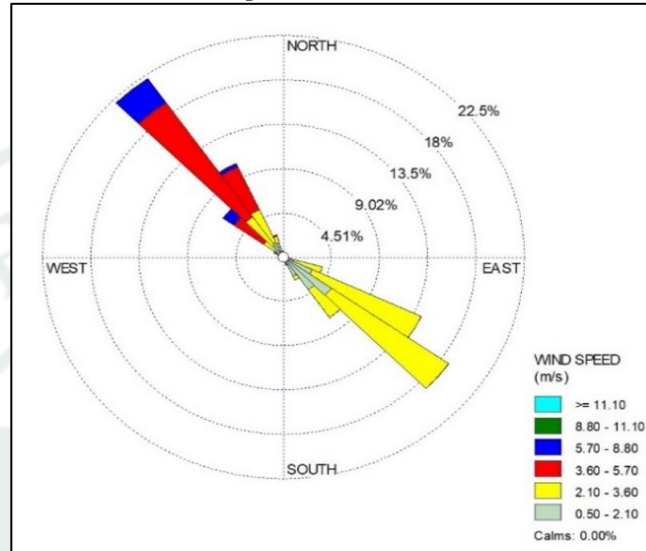
La figura nos muestra que para el contaminante PM_{2.5} existe una relación lineal positiva entre ambos índices, en la cual el coeficiente de determinación ($R^2=1$) evidencia una correlación perfecta, lo que indica que el 100% de la variabilidad del AQI es explicada por el INCA. Este resultado nos muestra una correspondencia directa y consistente entre ambos índices que evalúan la calidad del aire.

Asimismo, mediante los resultados obtenidos se valida que tanto el INCA como el AQI son herramientas consistentes para la evaluación de la calidad del aire, lo cual indica que no existe variación significativa entre los valores comparados, permitiendo su uso complementario en la interpretación de los niveles de contaminación atmosférica y eliminando la inseguridad en la equivalencia de ambos indicadores para PM_{2.5}.

4.6. Resultados meteorológicos

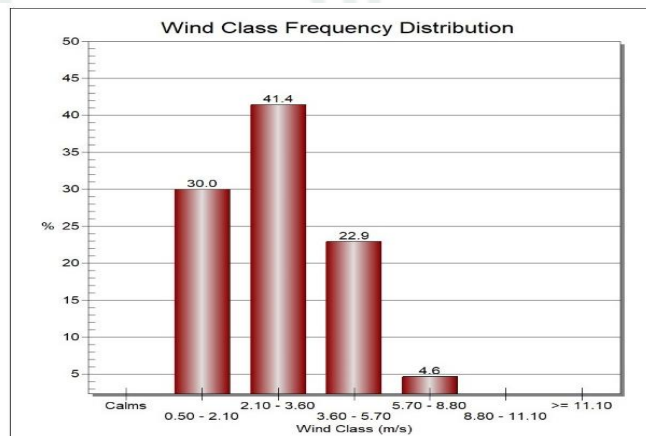
4.6.1. Rosa de viento época seca

Figura 21
Rosa de Vientos - Época Seca



Nota. Elaboración Propia

Figura 22
Distribución de Frecuencia de Clases de Viento - Época Seca

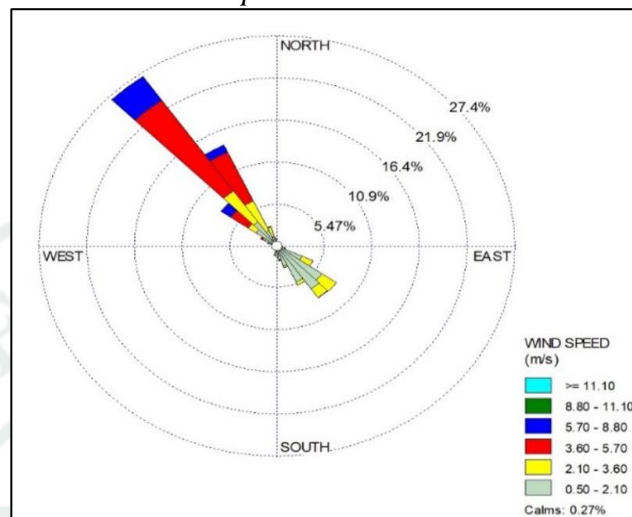


Nota. Elaboración Propia

En cuanto a la dirección del viento estos provienen de NW, donde las velocidades se encuentran alrededor de 3.60 a 8.80 m/s, asimismo en la gráfica podemos observar que hay una frecuencia y velocidad de viento que son menores que proviene de SE, donde se representan vientos en velocidades de 0.50 a 3.60 m/s. En cuanto a la distribución de velocidades de viento podemos observar que los vientos con velocidades más altas provienen de NW.

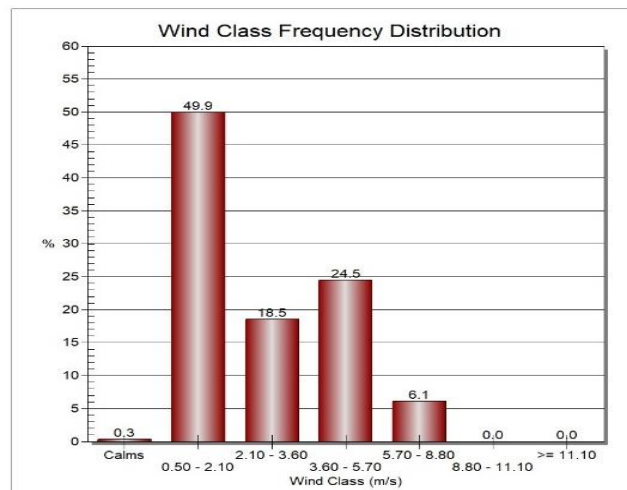
4.6.2. Rosa de viento época lluviosa

Figura 23
Rosa de Vientos - Época Lluviosa



Nota. Elaboración Propia

Figura 24
Distribución de Frecuencia de Clases de Viento - Época Lluviosa

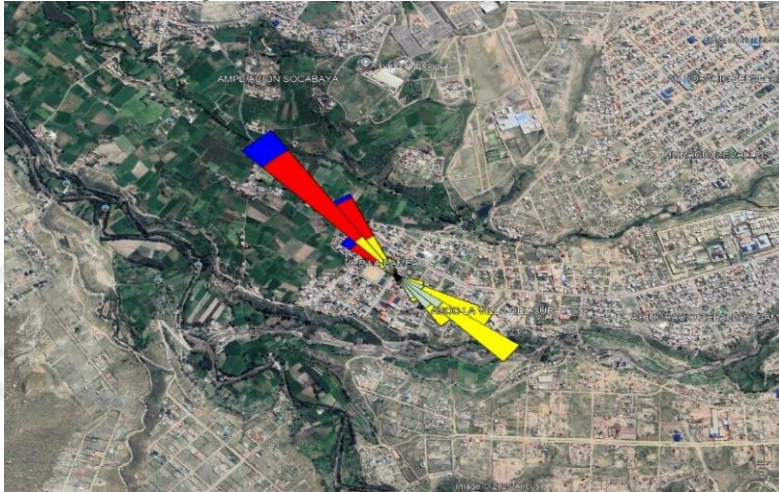


Nota. Elaboración Propia

Según la rosa de vientos la mayoría de estos provienen del NW, asimismo podemos observar que existen vientos que provienen de SE los cuales tienen una menor representación en la época lluviosa, los vientos con mayores velocidades provienen de NW que van alrededor de 3.60 a 8.80 m/s. El porcentaje de 0.27% de calma indica que hubo un pequeño porcentaje de tiempo sin vientos en esta época.

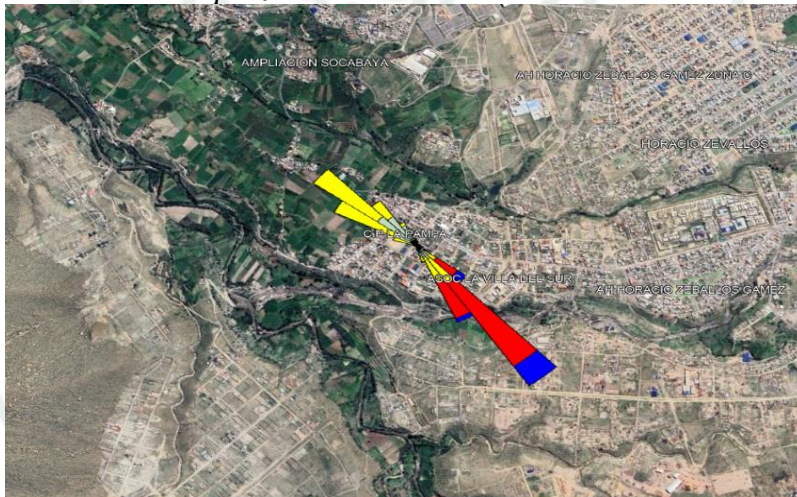
4.6.3. Rosa de Vientos Anual

Figura 25
Dirección de Origen del Viento



Nota. Elaboración Propia

Figura 26
Dirección de Desplazamiento del Viento



Nota. Elaboración Propia

En la Figura 23 la rosa de vientos anual, muestra la dirección desde donde proviene el viento en el punto de monitoreo ubicado en el distrito de Socabaya, asimismo se observa que presenta una mayor frecuencia de vientos provenientes del noroeste (NW).

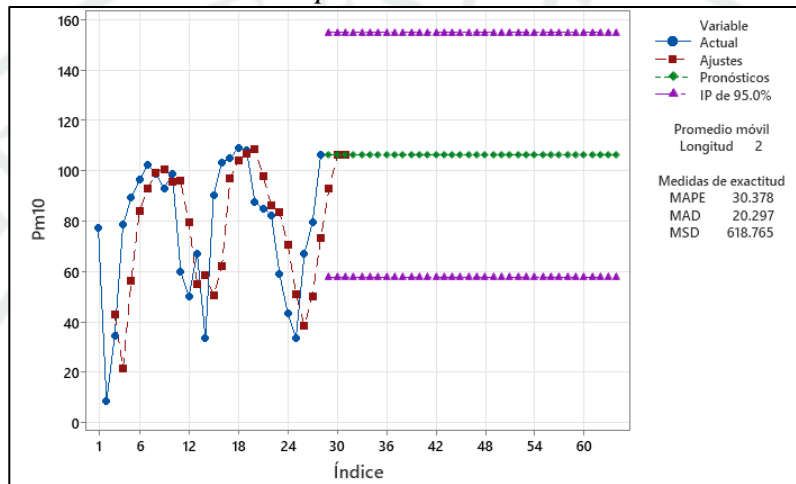
Por otro lado, la Figura 24 representa la dirección hacia donde se da el desplazamiento del viento, lo cual nos permite visualizar las zonas receptoras potencialmente vulnerables por la dispersión de material particulado y permite plantear una inferencia sobre el posible impacto de los contaminantes en dichas zonas, asimismo se puede suponer que las zonas receptoras

pueden experimentar una calidad de aire similar pero esto dependerá de la cercanía de otras fuentes emisoras hacia la zona receptora.

4.7. Análisis de tendencia mediante promedio móvil

4.7.1. Estimación de tendencia y pronóstico de PM₁₀ por promedio móvil

Figura 27
Modelo Promedio Móvil para PM₁₀



Nota. Elaboración Propia

Se aplicó un modelo de promedio móvil a la serie mensual de concentraciones de PM₁₀ registrada entre enero de 2022 a junio de 2024. Asimismo, se generó el pronóstico para los siguientes 3 años, donde el valor sería de 106.12; acompañados de un intervalo de predicción del 95%, el cual proporciona un rango de incertidumbre con un límite superior e inferior dentro del cual se espera que caigan los valores posibles futuros de PM₁₀. Este análisis permite evidenciar la tendencia general del contaminante en el distrito de Socabaya.

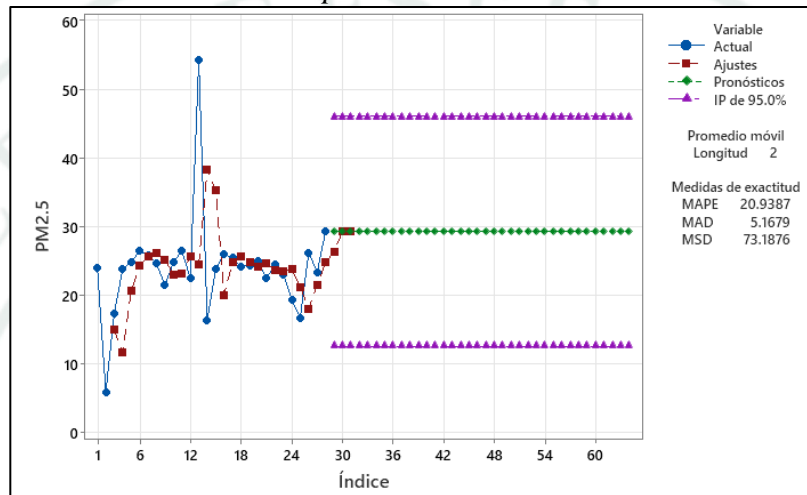
Tenemos un MAPE (Error Porcentual Medio Absoluto) del 30.38% la cual se considerada aceptable y donde las predicciones se consideran válidas; en cuanto al MAD (Desviación Absoluta Media) se tiene un error promedio aceptable el cual es de 20.29.

El valor de MSD es alto lo cual sugiere que puede estar influenciado por errores de predicción considerables en ciertos meses, ya sea que el modelo predijo un valor que se aleja bastante del valor real, ya sea por exceso o por defecto. Lo que limita la capacidad de este modelo a capturar tendencias o fluctuaciones futuras en las concentraciones de PM₁₀, donde

no incorpora la estacionalidad, es decir, no considera las variaciones naturales asociadas a cambios estacionales (como épocas de lluvia o seca) que influyen directamente en la dispersión y acumulación del material particulado.

4.7.2. Estimación de tendencia y pronóstico de PM_{2.5} por promedio móvil

Figura 28
Modelo Promedio Móvil para PM_{2.5}



Nota. Elaboración Propia

Se aplicó un modelo de promedio móvil a la serie mensual de concentraciones de PM_{2.5} registrada entre enero de 2022 a junio de 2024 donde se realizó pronóstico para los siguientes 3 años, y se obtuvo un valor constante de 29.25; acompañado de un IP (intervalo de predicción del 95%), el cual proporciona un rango de incertidumbre con un límite superior e inferior dentro del cual se espera que caigan los valores futuros de PM_{2.5}. Este análisis permite evidenciar la tendencia general del contaminante en el distrito de Socabaya.

En cuanto a las medidas de exactitud tenemos un MAPE (Error Porcentual Medio Absoluto) de 20.94% lo cual se considera aceptable y considera que el modelo nos proporciona predicciones relativamente válidas. El MAD (Desviación Absoluta Media) con un valor de 5.17 nos indica que en promedio las predicciones se desvían 5.17 respecto a los valores reales.

En cuanto al valor de MSD este es de 73.19 el cual nos indica la presencia de errores grandes en ciertos puntos de la serie, lo cual sugiere que puede estar influenciado por errores

de predicción considerables en ciertos meses, probablemente influenciados por eventos atípicos o extremos como picos de contaminación no capturados por el modelo o variaciones naturales asociadas a cambios estacionales (como época lluviosa o seca) que influyen directamente en la dispersión y acumulación del material particulado.

4.8. Medidas de gestión ambiental y los impactos generados por PM₁₀ y PM_{2.5}

4.8.1. Implementación de mecanismos de alerta temprana

Esta medida contempla la detección automática de umbrales riesgosos que afectan a la población, mediante instrumentos de evaluación rápida de los datos obtenidos por estaciones de monitoreo, sean estas existentes o por implementar. Se deberá contar con personal especializado que previa evaluación, activen las alertas cuando el valor se encuentre en una clasificación, la cual afecte a la población en general o grupos sensibles, conforme a los índices utilizados en esta investigación para PM₁₀ y PM_{2.5}. Estas alertas deben ser comunicadas de forma inmediata y accesible a través de múltiples canales, como redes sociales del municipio y entidades ambientales, notificaciones por SMS o aplicaciones móviles. Además, cada alerta debe estar acompañada de recomendaciones prácticas para la población, tales como limitar la actividad física al aire libre, utilizar mascarillas con filtro, permanecer en espacios cerrados y bien ventilados, y prestar especial atención a personas con enfermedades respiratorias o cardiovasculares.

Asimismo, el sistema debe integrarse con el sector salud local y los centros educativos, mediante protocolos de actuación ante episodios de alta contaminación para reducir la exposición y prevenir complicaciones respiratorias. Esta estrategia debe complementarse con acciones de educación ambiental y campañas de sensibilización dirigidas a la ciudadanía, orientadas a fortalecer la comprensión sobre la relación entre la calidad del aire y la salud, fomentando una respuesta informada y responsable ante los eventos de contaminación.

4.8.2. Control y reducción del polvo urbano

En el distrito de Socabaya, el de los contaminantes más PM_{10} , proviene de los accidentes producidos por el tránsito de vehículos por las calles no pavimentadas, en el cual, los efectos son en gran parte negativos, debido a que en la temporada seca no hay lluvias, los efectos del polvo sobre la salud son incrementados, ya que el polvo puede quedar suspendido por largos períodos. Se propone la pavimentación del distrito de Socabaya con base en los estudios en ingeniería civil. La pavimentación de calles por donde transita mayor cantidad de vehículos, por ejemplo, cerca de colegios y centros de salud, donde el tránsito de vehículos puede resultar en un alto nivel de exposición al polvo a la comunidad.

Se deben realizar controles durante la época seca, y el mejor control es el humedecimiento de las calles. También hay que tener un control de los vehículos de gran tonelaje que transitan por calles no pavimentadas. Estos vehículos son los que más polvo generan. Si se implementan estas medidas, habría una importante disminución de PM_{10} presentes en el ambiente urbano, reduciendo así la exposición directa de la población al polvo suspendido. Por lo tanto, estas acciones impulsarían la calidad del aire como la salud pública en el distrito de Socabaya.

DISCUSIÓN

Sánchez et al. (2022) utilizaron el Índice Nacional de Calidad del Aire (INCA) para evaluar las concentraciones de PM10 en áreas rurales y obtuvieron una clasificación Moderada en áreas como la Plaza de Pucallpa y la Carretera Santa Rosa, mientras que en CFB KM la calidad del aire se clasificó como Mala. Con respecto al parámetro PM2.5, la evaluación en las tres áreas analizadas presentó una clasificación de Mala. Comparando esos resultados con los obtenidos en el distrito de Socabaya, se puede ver que, aunque es un área con características semi-rurales, la incidencia de actividades antropogénicas y el tráfico vehicular aumentan los valores del INCA hacia niveles registrados en áreas urbanas. Esta tendencia muestra que en Socabaya el proceso de expansión urbana y el creciente número de vehículos impacta progresivamente en la baja calidad del aire, generando condiciones de acumulación de contaminantes similares a las observadas en entornos equivalentes consolidados, especialmente durante periodos de baja dispersión atmosférica.

Calampa (2015) reporta concentraciones de PM10 de $33.99 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $37.88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para los Jirones Alfonso Ugarte y Circunvalación estudiados, y estos valores fueron influenciados, principalmente, por el flujo de tráfico existente en las áreas estudiadas. Además, al calcular el INCA, el autor encontró que la calidad del aire caía en la categoría de 'Buena'. En contraste, la calidad del aire en el distrito de Socabaya difiere en que las concentraciones de PM10 se observan en niveles consistentes, lo que puede atribuirse a factores locales como la resuspensión de polvo, condiciones climáticas del distrito y cobertura de vías no asfaltadas. Además, los resultados del INCA de Socabaya indican que, durante la temporada seca, es Moderada.

Los valores de PM10 y PM2.5 muestran que la calidad del aire del distrito de Socabaya es variable y se debe a la estacionalidad de la época de lluvias y la época de secas. En la época de secas, el PM10 alcanzó el valor de 62.23, según clasificaciones del INCA, y se encuentra en

la categoría moderada. PM_{2.5} también se encuentra en la categoría moderada en ambos periodos, donde en la época seca alcanzó el valor de 99.87. En ambos episodios, los resultados se encuentran en lo concordante de los reportes de Cisneros (2019) y Suasnabar (2023), quienes reportaron picos en la concentración de material particulado durante eventos como festividades o en condiciones específicas del año, donde el PM₁₀ y el PM_{2.5} superaron a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA). En el distrito de Socabaya, el aumento de material particulado en la época de secas se puede asociar con el incremento de la actividad agrícola y el tránsito vehicular, lo que indica que la estacionalidad no solo influye en la concentración de contaminantes, sino que actúa como un factor determinante en la ocurrencia de episodios críticos de calidad de aire, aportando información técnica útil para la gestión de la calidad del aire.

En el distrito de Socabaya, los índices INCA y AQI anotaron sus valores más bajos en la época de lluvia, donde los dos indicadores para PM₁₀ presentaron una clasificación de calidad de aire Buena, y para el caso de PM_{2.5}, se mantuvo en el nivel de Moderada. Estos resultados indican que la lluvia ayuda a que haya menos partículas suspendidas, ya que ayuda a que se caigan. Este fenómeno también había sido documentado de forma más acentuada por Dextre (2016) en la ciudad de Lima, donde las concentraciones de PM_{2.5} se mantenían altas en los días sin lluvia, por la falta de limpieza natural de la atmósfera. Estos patrones demuestran que la gestión de la calidad del aire no se puede hacer sin considerar la meteorología, ya que la lluvia y el viento alteran la limpieza natural de la atmósfera, la dispersión y la acumulación de los contaminantes.

Se han analizado las concentraciones de PM₁₀ en Socabaya en julio del 2023 hasta junio del 2024, donde se han registrado varios meses cuyos valores han rebasado los Estándares (ECA), en el cual desde el punto de vista de la salud pública, la presencia de concentraciones elevadas de material particulado adquiere importancia debido a su potencial impacto en el

sistema respiratorio, ya que dichas partículas pueden ingresar a las vías respiratorias y contribuyen al desarrollo de afecciones respiratorias. Asimismo, mediante los reportes de la Gerencia Regional de Salud de Arequipa evidencian un incremento en los casos de infecciones respiratorias agudas (IRA) durante periodos en los que se presenta una mayor concentración de contaminantes, lo cual sugiere una posible asociación entre la exposición a material particulado y los efectos en la salud, en el ámbito nacional, Dalens et al. (2022) reportan hasta $115,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10. Del mismo modo, Ahuanari y Mozombite (2019) reportan la existencia de altos niveles de materia particulada PM2.5, donde se encuentra el caso de $103.30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que también, normativa ambiental se sobrepasa y atenta al ambiente ya la salud.

Crear la rosa de los vientos ayudó a analizar el comportamiento y la dispersión de PM10 y PM2.5. Evidenciándose que la velocidad del viento mostró variaciones alcanzando valores máximos entre 5.70 y 8.80 m/s. También se identificó la dirección predominante anual del viento, lo que permitió determinar a qué zonas se transportan estos contaminantes. Esto sugiere que ciertas áreas receptoras podrían experimentar concentraciones similares o incluso más altas de materia particulada. En este sentido, Halek y Kavousi-Rahim (2014) aplican datos de satélite y sistema de información geográfica (GIS) para desarrollar mapas de la distribución de contaminantes y encontraron altas concentraciones, proyectando posibles aumentos futuros. Su estudio enfatiza que la velocidad y dirección del viento son factores importantes en la dispersión de partículas contaminantes, siendo de gran valor para determinar áreas posiblemente afectadas por la contaminación atmosférica.

Se realizó un seguimiento ambiental de la concentración de PM2.5 tomando en cuenta las condiciones climáticas, las cuales afectan la cantidad y la distribución de los PM2.5 en la atmósfera. Durante el monitoreo de la estación realizado automáticamente de julio 2023 a junio 2024, los datos muestran variación mes a mes y esto se puede explicar por la variación de la dirección del viento y el clima. Wen et al. (2022), catalogan el clima como uno de los

determinantes en la concentración de PM2.5, ya que conllevan a los fenómenos de dispersión, transporte y acumulación de las partículas en el aire.

Por último, en relación con lo encontrado en el estudio realizado por Sánchez et al. (2022) en la provincia de Coronel Portillo (Ucayali), donde se encontraron aumentos en las concentraciones de PM10 y PM2.5 durante períodos de intensa actividad humana, se identifican patrones similares en el distrito de Socabaya. Durante ciertos meses, en los que las actividades antropogénicas fueron más intensas, las concentraciones de PM2.5 en Socabaya alcanzaron niveles que son clasificados como “Moderados” a “Malos” por INCA. Este comportamiento ejemplifica el impacto de las actividades agrícolas y otros esfuerzos humanos en la degradación de la calidad del aire, ya que corresponde a los niveles elevados de contaminantes durante períodos de mayor actividad humana.

CONCLUSIONES

PRIMERO: La caracterización de los niveles de PM10 y PM2.5 en el distrito de Socabaya, a partir de la información registrada por la estación de monitoreo, ha evidenciado que, en los meses de julio a octubre de 2023, se presentaron los valores diarios más altos de PM10. En este período se identificó un valor máximo de 191,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el mes de septiembre, mientras que para PM2.5 en dicho mes se registró una concentración máxima de 38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Evidenciando que en el mes de septiembre las condiciones meteorológicas y las diversas fuentes de emisión favorecieron la acumulación de material particulado en la atmósfera. Por el contrario, se registraron valores de 18.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM10 en el mes de febrero y de 11.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM2.5 en marzo, lo que evidencia una clara variabilidad estacional de la concentración de estos contaminantes.

SEGUNDO: En lo que respecta a PM10 y PM2.5, el INCA registró 53.60 y 94.36, lo que sitúa la concentración de ambos contaminantes en la categoría “Moderada”. Asimismo, utilizando el Índice de Calidad del Aire (AQI) de la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (EPA), se obtuvo 62.37 para PM10 y 78 para PM2.5, lo que corresponde a la clasificación “Moderado”. De este modo se puede concluir que la calidad del aire en el distrito de Socabaya varía a lo largo del año y hay un incremento en la temporada seca que en la temporada de lluvias. Este comportamiento confirma el impacto de las condiciones climáticas en la dispersión y acumulación de contaminantes atmosféricos.

TERCERO: Para principios del análisis de PM10 y PM2.5 de la evaluación de los meses de julio del 2023 hasta junio del 2024 en el distrito de Socabaya, se utilizaron los estándares de calidad que el ministerio del ambiente que se ha dispuesto mediante el decreto supremo N.º 003-2017-MINAM. Por consiguiente, los resultados mostraron que, para PM10 en los meses julio, agosto, septiembre del 2023 y junio del 2024, las concentraciones alcanzaron 105.13, 108.75, 108.15 y 106.12 respectivamente donde excedieron el valor de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Por el

contrario, las concentraciones de PM_{2.5} se mantuvieron sin registros de exceso en el margen de control, de 50 µg/m³. En base a estos resultados, se pone en evidencia que en el distrito de Socabaya el contaminante con mayor preocupación es el PM₁₀.



RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos muestran que las concentraciones de PM10 superaron los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) en ciertos períodos, lo que demuestra la necesidad de expandir la red de monitoreo de la calidad del aire en el distrito de Socabaya. La instalación de más sitios de monitoreo permitiría un análisis más detallado del comportamiento de este contaminante e identificar más precisamente las fuentes de emisión que influyen en la calidad del aire. Esto ayudaría al desarrollo de estudios más integrales y al monitoreo continuo de áreas con alta actividad industrial o alto tráfico vehicular, lo que contribuiría a una mejor gestión ambiental en el distrito.

Se ha observado que el aumento de las concentraciones de PM10 está relacionado principalmente con la resuspensión de polvo en vías sin asfaltar, entre otras cosas, mientras que las concentraciones de PM2.5 se mantuvieron en niveles normales. Por eso, se sugiere que se elabore un plan para determinar las fuentes de contaminación, tanto naturales como artificiales, en el distrito de Socabaya. Si las fuentes de contaminación son, principalmente, de origen artificial, será indispensable implementar acciones dirigidas a la contención y reducción de la contaminación, con el propósito de lograr un apoyo en la calidad de la contaminación del aire y de la salud de la población.

Los resultados de las épocas secas y lluviosas muestran que los fenómenos que ocurren en el clima afectan a la cantidad de material particulado en la atmósfera. Ante esto, se sugiere realizar estudios que describan la relación de las variables de la atmósfera y la cantidad de material en el aire, en especial a los contaminantes que se clasifican en PM10 y PM2.5. Esta clase de estudios describe relaciones de fenómenos como la velocidad del viento, la cantidad de vapor de agua, la temperatura y la lluvia en los fenómenos que provocan la dispersión o acumulación de los contaminantes. Esto resulta positivo para crear estrategias en la gestión y el control de la contaminación en el distrito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, J. D. F., & Esquivel, V. O. A. (2022). *Caracterización del material particulado para determinar la calidad del aire en la Universidad Nacional de Trujillo*, 2022. Repositorio Institucional UNT. <https://hdl.handle.net/20.500.14414/16323>
- Ahrens, C. D. (2012). *Meteorology today: An introduction to weather, climate, and the environment* (10th ed.). Cengage Learning.
- Alfaro, G. C. A. (2020). *Alteración de la calidad del aire por quema de caña de azúcar (Saccharum officinarum L.) en Casa Grande, La Libertad*. Biblioteca Agrícola Nacional. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4488>
- Álvarez, A. J. A., Fernández, S. A., Saba, M., Quiñones, B. E., & Úbeda, P. J. (2022). Analysis of PM2.5 and meteorological variables using enhanced geospatial techniques in developing countries: A case study of Cartagena de Indias city (Colombia). *Atmosphere*, 13(4), 506. <https://doi.org/10.3390/atmos13040506>
- Arya, S. P. (1999). *Air pollution meteorology and dispersion*. Oxford University Press.
- Canales, R. M., Quintero, N. M., Castro, R. T., & García, C. R. (2014). Chemical composition of inhalable particles PM10 in the urban and rural area of Mexicali, Baja California in México. *Información Tecnológica*, 25(6), 13–22. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000600003>
- Congreso Constituyente Democrático. (1993). *Constitución Política del Perú*. Diario Oficial El Peruano.
- Congreso de la República del Perú. (1997). *Ley N.º 26842, Ley General de Salud*. Diario Oficial El Peruano.
- Congreso de la República del Perú. (2005). *Ley N.º 28611, Ley General del Ambiente*. Diario Oficial El Peruano.

- Córdova, P. J. M. (2019). *Índice de la calidad de aire de combustión del monóxido de carbono y dióxido de azufre del flujo vehicular en Pariachi y Huaycan*. Repositorio Institucional DSPACE. <https://hdl.handle.net/20.500.12840/1674>
- Cueva, S. K. A. (2021). *Efectos ambientales en la calidad del aire por las erupciones volcánicas del Huaynaputina y Sabancaya (Perú)*. Repositorio Institucional UCSM. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/1126996>
- Custodio, L. P. A. (2018). *Impactos ambientales del dióxido de azufre y material particulado (PM2.5) sobre la calidad del aire en Chimbote, 2014–2016*. Repositorio Institucional UNS. <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/3293>
- Dalens, R. Z. E., & Macedo, G. T. (2022). *Evaluación de la calidad del aire por emisiones de CO, PM2.5 y PM10 generado por la industria ladrillera en Cusco*. Universidad César Vallejo. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/5215368>
- Dirección General de Salud Ambiental. (2005). *Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos*. SINIA. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/protocolo-monitoreo-calidad-aire-gestion-datos>
- Environmental Protection Agency. (2025a). *Conceptos básicos del Índice de Calidad del Aire (AQI)*. <https://www.airnow.gov>
- Environmental Protection Agency. (2025b). *Conceptos básicos sobre el material particulado (PM)*. <https://espanol.epa.gov>
- Euribe, D. O. del R., & Neyra, H. F. L. (2021). *Influencia de la concentración de PM2.5 sobre la calidad del aire en la ciudad de Arequipa – Perú, 2015–2020*. Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/106371>
- Halek, F., & Kavousi-Rahim, R. (2014). GIS assessment of the PM10, PM2.5 and PM1.0 concentrations in urban area of Tehran in warm and cold seasons. *International*

- Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-2/W3, 141–149. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-2-W3-141-2014>
- Jacobson, M. Z. (2012). *Air pollution and global warming: History, science, and solutions* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Ministerio del Ambiente. (2009). *Decreto Supremo N.º 012-2009-MINAM: Política Nacional del Ambiente*. Gobierno del Perú.
- Ministerio del Ambiente. (2016). *Resolución Ministerial N.º 181-2016-MINAM: Índice Nacional de Calidad del Aire (INCA)*. Gobierno del Perú.
- Ministerio del Ambiente. (2017). *Decreto Supremo N.º 003-2017-MINAM: Estándares de Calidad Ambiental para Aire*. Gobierno del Perú.
- Quijano Parra, A., & Quijano Vargas, M. J. (2010). Contaminación atmosférica y efectos del material particulado en la salud humana. *Revista de Salud Pública*, 12(4), 1–10.
- Sánchez, M. A. L., & Aldaba, Y. D. A. (2022). *Influencia de características antrópicas de tres zonas de la provincia de Coronel Portillo en la concentración de material particulado PM10 y PM2.5*. Universidad Nacional de Ucayali. <https://hdl.handle.net/20.500.14621/5647>
- Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2016). *Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change* (3rd ed.). Wiley.
- Vallero, D. A. (2014). *Fundamentals of air pollution* (5th ed.). Academic Press.
- Wallace, J. M., & Hobbs, P. V. (2006). *Atmospheric science: An introductory survey* (2nd ed.). Academic Press.
- Wang, L., Xiong, Q., Wu, G., Gautam, A., Jiang, J., Liu, S., Zhao, W., & Guan, H. (2019). Spatio-temporal variation characteristics of PM2.5 in the Beijing–Tianjin–Hebei region, China, from 2013 to 2018. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(21), 4276. <https://doi.org/10.3390/ijerph16214276>

- Warthon, O. B. S., Zamalloa, P. A. I., Warthon, A. J. L., Miranda, H. I. C., Quispe, C. I. R., Ramos, S. V. F., Ponce, A. R. E., & Tupayachi, L. R. A. (2023). Evaluación de la contaminación del aire por material particulado PM2.5 en la ciudad del Cusco respecto de los índices de calidad del aire entre 2017 y 2018. *Ambiente, Comportamiento y Sociedad*, 6(1), 1–15. <https://doi.org/10.51343/RACS.V6I1.1112>
- Wen, L., Yang, C., Liao, X., Zhang, Y., Chai, X., Gao, W., Guo, S., Bi, Y., Tsang, S., Chen, Z., Qi, Z., & Cai, Z. (2022). Investigation of PM2.5 pollution during COVID-19 pandemic in Guangzhou, China. *Journal of Environmental Sciences*, 115, 443–452. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2021.07.018>
- World Health Organization. (2006). *Air quality guidelines global update 2005*. WHO.
- World Health Organization. (2021). *WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. WHO.



ANEXOS

Anexo 1

Formato de Monitoreo y Verificación de Condiciones Meteorológicas

Tabla 28

Registro de Monitoreo Meteorológico

REGISTRO DE MONITOREO METEOROLÓGICO					
PUNTO DE MUESTREO:			Institución Educativa Corazón de Jesús		
EQUIPO UTILIZADO:			Estación Meteorológica		
Meses	Dirección del viento (WD)	Velocidad del viento(m/s)	Temperatura	Presión	Humedad Relativa
Julio	198.02	2.97	15.27	770.37	22.28
Agosto	202.16	3.01	16.05	770.20	19.55
Setiembre	212.59	3.14	16.78	769.74	24.28
Octubre	240.83	2.95	17.15	769.95	41.97
Noviembre	232.41	3.07	17.62	769.27	30.93
Diciembre	244.55	3.04	18.20	769.16	40.73
Enero	255.08	2.76	17.98	769.85	61.28
Febrero	252.29	2.52	17.48	770.21	69.17
Marzo	233.11	2.33	17.18	770.31	70.35
Abril	229.51	2.73	16.73	769.91	55.12
Mayo	209.92	2.83	16.54	770.00	34.02

Nota. Datos recopilados de la estación de Meteorológica Automática DATA LOGGER MAIGRAI MO1, instalada en la I.E. Corazón de Jesús – Socabaya (OEFA, 2023–2024).

Anexo 2

Fórmulas de Inca para PM10 y PM2.5

Para determinar el índice de la calidad del aire, se empleó las fórmulas establecidas en la R.M. N° 181-2016-MINAM. Estas se detallan a continuación.

Para material particulado menor a 10 micras

$$I (PM10) = [PM10]*100/150$$

Para material particulado menor a 2.5 micras

$$I (PM2.5) = [PM2.5]*100/25$$

Tabla 29*Cálculo del Índice de Nacional de Calidad del Aire (INCA) para PM₁₀ - PM_{2.5}*

MES	PM ₁₀ μG/M ³	FÓRMULA EMPLEADA	RES.	PM _{2.5} μG/M ³	FÓRMULA EMPLEADA	RES.
Julio	105.13	$I(PM_{10}) = (82.22) * \frac{105.13}{150}$	70.08	25.40	$I(PM_{2.5}) = (25.31) * \frac{25.40}{25}$	101.61
Agosto	108.75	$I(PM_{10}) = (82.22) * \frac{108.75}{150}$	72.50	24.03	$I(PM_{2.5}) = (25.31) * \frac{24.03}{25}$	96.13
Setiembre	108.15	$I(PM_{10}) = (82.22) * \frac{108.15}{150}$	72.10	24.30	$I(PM_{2.5}) = (25.31) * \frac{24.30}{25}$	97.21
Octubre	87.38	$I(PM_{10}) = (82.22) * \frac{87.38}{150}$	58.25	24.96	$I(PM_{2.5}) = (25.31) * \frac{24.96}{25}$	99.85
Noviembre	85.05	$I(PM_{10}) = (82.22) * \frac{85.05}{150}$	56.70	22.36	$I(PM_{2.5}) = (25.31) * \frac{22.36}{25}$	89.43
Diciembre	82.23	$I(PM_{10}) = (82.22) * \frac{82.23}{150}$	54.82	24.44	$I(PM_{2.5}) = (25.31) * \frac{24.44}{25}$	97.76
Enero	58.94	$I(PM_{10}) = (82.22) * \frac{58.94}{150}$	39.29	23.00	$I(PM_{2.5}) = (25.31) * \frac{23.00}{25}$	91.99
Febrero	43.23	$I(PM_{10}) = (82.22) * \frac{43.23}{150}$	28.82	19.26	$I(PM_{2.5}) = (25.31) * \frac{19.26}{25}$	77.03
Marzo	33.58	$I(PM_{10}) = (82.22) * \frac{33.58}{150}$	22.39	16.65	$I(PM_{2.5}) = (25.31) * \frac{16.65}{25}$	66.59
Abril	66.75	$I(PM_{10}) = (82.22) * \frac{66.75}{150}$	44.50	26.17	$I(PM_{2.5}) = (25.31) * \frac{26.17}{25}$	104.68
Mayo	79.45	$I(PM_{10}) = (82.22) * \frac{79.45}{150}$	52.97	23.26	$I(PM_{2.5}) = (25.31) * \frac{23.26}{25}$	93.06
Junio	106.12	$I(PM_{10}) = (82.22) * \frac{106.12}{150}$	70.75	29.25	$I(PM_{2.5}) = (25.31) * \frac{29.25}{25}$	117.02

Nota. Elaboración Propia

FÓRMULA GENERAL DEL AQI

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

Donde I_p= el índice del contaminante pC_p = la concentración truncada de contaminante pBP_{Hi}= el punto de corte de concentración que es mayor o igual a C_pBP_{Lo}= el punto de corte de concentración que es menor o igual a C_pI_{Hi}= el valor del AQI correspondiente a BP_{Hi}I_{Lo} = el valor del AQI corresponde a BP_{Lo}

Tabla 30*Cálculo del (AQI) para PM₁₀*

MES	PM ₁₀ µg/m ³	Fórmula empleada	Res.
Julio	105.13	$I_p = \frac{100 - 51}{154 - 55} + (105.13 + 55) + 51$	75.81
Agosto	108.75	$I_p = \frac{100 - 51}{154 - 55} + (108.75 + 55) + 51$	77.60
Setiembre	108.15	$I_p = \frac{100 - 51}{154 - 55} + (108.15 + 55) + 51$	77.31
Octubre	87.38	$I_p = \frac{100 - 51}{154 - 55} + (87.38 + 55) + 51$	67.03
Noviembre	85.05	$I_p = \frac{100 - 51}{154 - 55} + (85.05 + 55) + 51$	65.87
Diciembre	82.23	$I_p = \frac{100 - 51}{154 - 55} + (82.23 + 55) + 51$	64.48
Enero	58.94	$I_p = \frac{100 - 51}{154 - 55} + (58.94 + 55) + 51$	52.95
Febrero	43.23	$I_p = \frac{50 - 0}{54 - 0} + (43.23 + 0) + 0$	40.03
Marzo	33.58	$I_p = \frac{50 - 0}{54 - 0} + (33.58 + 0) + 0$	31.09
Abril	66.75	$I_p = \frac{100 - 51}{154 - 55} + (66.75 + 55) + 51$	56.82
Mayo	79.45	$I_p = \frac{100 - 51}{154 - 55} + (79.45 + 55) + 51$	63.10
Junio	106.12	$I_p = \frac{100 - 51}{154 - 55} + (106.12 + 55) + 51$	76.30

Tabla 31*Cálculo del (AQI) para PM_{2.5}*

MES	PM _{2.5} µg/m ³	Fórmula empleada	Res.
Julio	25.40	$I_p = \frac{100 - 51}{35.4 - 9.1} + (25.40 + 9.1) + 51$	70.08
Agosto	24.03	$I_p = \frac{100 - 51}{35.4 - 9.1} + (24.03 + 9.1) + 51$	72.50
Setiembre	24.30	$I_p = \frac{100 - 51}{35.4 - 9.1} + (24.30 + 9.1) + 51$	72.10
Octubre	24.96	$I_p = \frac{100 - 51}{35.4 - 9.1} + (24.96 + 9.1) + 51$	58.25
Noviembre	22.36	$I_p = \frac{100 - 51}{35.4 - 9.1} + (22.36 + 9.1) + 51$	56.70
Diciembre	24.44	$I_p = \frac{100 - 51}{35.4 - 9.1} + (24.44 + 9.1) + 51$	54.82
Enero	23.00	$I_p = \frac{100 - 51}{35.4 - 9.1} + (23.00 + 9.1) + 51$	39.29
Febrero	19.26	$I_p = \frac{100 - 51}{35.4 - 9.1} + (19.26 + 9.1) + 51$	28.82
Marzo	16.65	$I_p = \frac{100 - 51}{35.4 - 9.1} + (16.65 + 9.1) + 51$	22.39
Abril	26.17	$I_p = \frac{100 - 51}{35.4 - 9.1} + (26.17 + 9.1) + 51$	44.50
Mayo	23.26	$I_p = \frac{100 - 51}{35.4 - 9.1} + (23.26 + 9.1) + 51$	52.97
Junio	29.25	$I_p = \frac{100 - 51}{35.4 - 9.1} + (29.25 + 9.1) + 51$	70.75

Anexo 3

Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM


Anexo Estándares de Calidad Ambiental para Aire				
Parámetros	Periodo	Valor [µg/m³]	Criterios de evaluación	Método de análisis ^[1]
Benceno (C ₆ H ₆)	Anual	2	Media aritmética anual	Cromatografía de gases
Dióxido de Azufre (SO ₂)	24 horas	250	NE más de 7 veces al año	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	1 hora	200	NE más de 24 veces al año	Quimioluminiscencia (Método automático)
	Anual	100	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM _{2,5})	24 horas	50	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	25	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀)	24 horas	100	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	50	Media aritmética anual	
Mercurio Gaseoso Total (Hg) ^[2]	24 horas	2	No exceder	Espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS) o Espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS) o Espectrometría de absorción atómica Zeeman. (Métodos automáticos)
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	30000	NE más de 1 vez al año	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)
	8 horas	10000	Media aritmética móvil	
Ozono (O ₃)	8 horas	100	Máxima media diaria NE más de 24 veces al año	Fotometría de absorción ultravioleta (Método automático)
Plomo (Pb) en PM ₁₀	Mensual	1,5	NE más de 4 veces al año	Método para PM ₁₀ (Espectrofotometría de absorción atómica)
	Anual	0,5	Media aritmética de los valores mensuales	
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	24 horas	150	Media aritmética	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)

NE: No Exceder.
^[1] o método equivalente aprobado.
^[2] El estándar de calidad ambiental para Mercurio Gaseoso Total entrará en vigencia al día siguiente de la publicación del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire, de conformidad con lo establecido en la Séptima Disposición Complementaria Final del presente Decreto Supremo.

1529835-1

Anexo 4

Información de Registro de Calibraciones de los Equipos

 PERÚ	Ministerio del Ambiente	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA	SMER: Subdirección de Políticas y Mejora Regulatoria
---	-------------------------	--	--

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho

Visto digitalmente por:
RIVERO MARVA Victoria
Diciembre FAU 20241206109
pdf
Cargo: Ejecutiva de la Subdirección Técnica Científica
Motivo: Con sellado de conformidad
Fecha: 26/12/2024
16:38:22

2024-E01-127738

MEMORANDO N° 00137 - 2024-OEFA/DPEF-SMER

A : ANGELO ALBERTO LEVANO CANO
Coordinación del Servicio de Información y Atención al Ciudadano

ASUNTO : Consulta presentada por el ciudadano Harold Hatamare Vargas

REFERENCIA : Memorando N° 084-2024-OEFA/ORI-CSAC

FECHA : Jesús María, 20 de diciembre de 2024

Tengo el agrado de dirigirme a usted a fin de saludarlo cordialmente y, a su vez, atender el documento de la referencia, mediante el cual se trasladan las siguientes consultas presentadas al Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA por el ciudadano Harold Hatamare Vargas (en adelante, **el solicitante**):

"[SIC] ...me dirijo a ustedes con relación a solicitar información con respecto a la Estación de Monitoreo del distrito de Socabaya, respecto a los parámetros de calidad del aire (PM10 y PM2.5). 1. Se cuenta con un registro de las calibraciones del monitor automático de partículas. (Distrito Socabaya). 2. Se cuenta con un registro de las calibraciones de la estación meteorológica (sensor anemométrico, sensor de presión, sensor de temperatura y humedad y sensor pluviométrico) Marca del equipo: Lasterm. (Distrito de Socabaya). 3. Qué procedimientos se aplican para garantizar que calidad de los datos obtenidos de PM10 y PM25 sean precisos y confiables".

Conforme a lo previsto en el Procedimiento PE0306 "Atención de consultas" del Manual de Procedimientos "Comunicaciones", aprobado mediante Resolución de Gerencia General N° 060-2021-OEFA-GEG, la atención de consultas de los/as ciudadanos/as se realiza respecto de las competencias, funciones y servicios del OEFA¹.

Por su parte, los artículos 117² y 122² del Texto Único Ordenado de la Ley N° 27444, Ley del Procedimiento Administrativo General, aprobado por Decreto Supremo N° 004-2019-JUS², contemplan la facultad de formular consultas a las entidades de la Administración Pública sobre las materias a su cargo o sobre el sentido de la norma vigente que comprende su accionar.

En ese sentido, se procede a absolver las consultas formuladas, precisando que las respuestas respecto de la normativa vigente son de carácter orientativo, y no tienen efecto vinculante ni implican brindar asesoría en casos específicos.



Consultas 1 y 2: Solicitar información con respecto a la Estación de Monitoreo del distrito de Socabaya, respecto a los parámetros de calidad del aire (PM10 y PM2.5). 1. Se cuenta con un registro de las calibraciones del monitor automático de partículas. (Distrito Socabaya); y, 2. Se cuenta con un registro de las calibraciones de la estación meteorológica (sensor anemométrico, sensor de presión, sensor de temperatura y humedad y sensor pluviométrico) Marca del equipo: Lasterm. (Distrito de Socabaya).

Al respecto, es importante informar que la Dirección de Evaluación Ambiental (en adelante, **la DEAM**) del OEFA cuenta con el Procedimiento **PM0312 Gestión de mantenimiento y calibración de equipamiento** del MAPRO "Evaluación Ambiental" (en adelante, **el Procedimiento**), aprobado mediante Resolución de Presidencia de Consejo Directivo N° 00054-2020-OEFA/PCD y modificada por Resoluciones de Presidencia de Consejo Directivo

¹ Véase la sección "Consideraciones generales" de la ficha del Procedimiento PE0306, "Atención de consultas" del Manual de Procedimientos "Comunicaciones", aprobado mediante Resolución de Gerencia General N° 060-2021-OEFA-GEG.

² Texto Único Ordenado de la Ley N° 27444, Ley del Procedimiento Administrativo General, aprobado por Decreto Supremo N° 004-2019-JUS
Artículo 117.- Derecho de petición administrativa
(...)
117.2 El derecho de petición administrativa comprende las facultades de (...) formular consultas y de presentar solicitudes de gracia
117.3 Este derecho implica la obligación de dar al interesado una respuesta por escrito dentro del plazo legal.
Artículo 122.- Facultad de formular consultas
122.1 El derecho de petición incluye las consultas por escrito a las autoridades administrativas, sobre las materias a su cargo y el sentido de la normativa vigente que comprende su accionar, particularmente aquella emitida por la propia entidad. Este derecho implica la obligación de dar al interesado una respuesta por escrito dentro del plazo legal.

1

Documento electrónico firmado digitalmente en el marco de la Ley N° 27269, Ley de Firmas y Certificados Digitales, su Reglamento y modificaciones. La integridad del documento y la autenticidad de la(s) firma(s) pueden ser verificadas en <https://apps.firmaperu.gob.pe/web/validador.xhtml>



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

SMER: Subdirección de Políticas y Mejora Regulatoria

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho

N° 031-2021-OEFA/PCD y N° 055-2021-OEFA/PCD; y, la Resolución de Gerencia General N° 104-2023-OEFA.GEG, en el cual se establecen las actividades para la programación, seguimiento y verificación de la ejecución del mantenimiento y calibración, así como el mantenimiento rutinario del equipamiento.

El Procedimiento establece que la Unidad Funcional de "Operaciones Técnicas" (en adelante, **la OTEC**), es responsable de aprobar el Programa Anual de Mantenimiento y Calibración (en adelante, **el PAMC**) dentro de los primeros quince (15) días calendario del mes de enero del año en curso y remitir a la Subdirección Técnica Científica de la Dirección de Evaluación Ambiental.]

En tal contexto, el PAMC incluye el detalle del equipamiento que será objeto de calibración durante el año en ejercicio. Además, precisar que cada equipo disponible en la OTEC se encuentra codificado y cuenta con su respectiva *hoja de vida*, la cual constituye un registro donde se detalla las calibraciones y mantenimientos que ha tenido el equipo.

Al respecto, se adjunta un enlace drive que contiene la *hoja de vida* de cada uno de los equipos solicitados y los certificados de las últimas calibraciones realizadas:

https://drive.google.com/drive/folders/1IXSM7JkFjhalZE1Y2TTn9tDDvsYBflu1?usp=drive_link

Consulta 3: *Qué procedimientos se aplican para garantizar que calidad de los datos obtenidos de PM10 y PM25 sean precisos y confiables*

Respecto a la presente consulta, se precisa que en el *Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire*, aprobado mediante Decreto Supremo N.° 010-2019-MINAM², se indican los métodos de calidad del aire a emplear por su grado de exactitud, según su tecnología, operación y mantenimiento, procesamiento y reporte de la información de monitoreo, aseguramiento y control de calidad del monitoreo.

Se remite esta información a fin de que pueda ser puesta en conocimiento del solicitante.

Atentamente,



Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

Firmado digitalmente por:
LOSTALUNAU BARBIERI Andrea
Mercedes FAU 20521296769
soft
Cargo: Ejecutiva de la Subdirección de Políticas y Mejora Regulatoria
Lugar: Sede Central - Jesus María - Lima - Lima
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha/Hora: 20/12/2024 15:10:53

Documento electrónico firmado digitalmente en el marco de la Ley N° 27269, Ley de Firmas y Certificados Digitales, su Reglamento y modificatorias. La integridad del documento y la autenticidad de la(s) firma(s) pueden ser verificadas en <https://apps.firmsperu.gob.pe/web/validador.xhtml>

Anexo 5

Certificados de Calibración de Estación Meteorológica



Certificado de Calibración OHLTH-584-2024

1.- SOLICITANTE

Nombre: ORGANISMO DE EVALUACION Y FISCALIZACION (INACAL) y/o internacionales.
AMBIENTAL - OEFA

Dirección: AV. FAUSTINO SANCHEZ CARRION NRO. 603 LIMA - LIMA - JESUS MARIA

Este certificado de Calibración documenta la trazabilidad a los patrones Nacionales

OHLAB S.A.C. custodia, conserva y mantiene

sus patrones en Áreas con condiciones ambientales controladas, realiza mediciones metrológicas a solicitud de los interesados, promueve el desarrollo de la metrología en el país y contribuye a la difusión del sistema legal de unidades del medida del Perú.

OHLAB S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento o equipo después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario debe tener un control de mantenimiento y recalibraciones apropiadas para cada instrumento.

2.- INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

Estación Meteorológica

Marca : MAIGRAI
Modelo : M01
N° de Serie consola : CE0170
Codigo : 67228802-0040
Intervalo de medición : 500 hPa a 1200 hPa
0 m/s a 85 m/s
Resolución : 0,02 hPa / 0,01 m/s
Procedencia : Irlanda

3.- FECHA Y LUGAR DE CALIBRACIÓN

* El instrumento se calibró el 2024-10-26

* La calibración se realizó en el Área de Temperatura y Humedad del Laboratorio OHLAB S.A.C.

4.- CONDICIONES AMBIENTALES

Temperatura	22,1 °C	±	0,2 °C
Humedad	54,7 % hr	±	1,5 % hr
Presión	1009,5 hPa	±	0,2 hPa

Este Certificado de calibración solo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos y/o modificaciones requieren la autorización del Laboratorio de Metrología OHLAB S.A.C.. Certificado sin firma y sello carecen de validez. Los resultados de este certificado no deben utilizarse como certificado de conformidad de producto. Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a calibración, el laboratorio OHLAB S.A.C. declina de toda responsabilidad por el uso indebido o incorrecto que se hiciere de este certificado.

Fecha de emisión: 2024-10-26

Sello



OCCUPATIONAL HYGIENE LABORATORY S.A.C.

Juan Diego Arribasplata
JEFE DE LABORATORIO DE METROLOGIA

OCCUPATIONAL HYGIENE LABORATORY S.A.C.
Laboratorio de Metrología
Avenida La Marina N° 365, La Perla Callao - Perú
Telf.: (01) 454 3009 Cel.: (+51) 983 731 672
Email: comercial@ohlaboratory.com
Web: www.ohlaboratory.com

Pág. 1 de 3
FGC-144/MAYO2019/Rev.00

Certificado de Calibración OHLTH-584-2024

5.- PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

La calibración se efectuó según el Método de Comparación directa según el "CUP ANEMOMETER CALIBRATION PROCEDURE" del Network of European Measuring Institutes / Barómetro: PC-024:2018 Procedimiento para la calibración de instrumentos de medición de presión absoluta (Barómetros) / PIC-021 - Procedimiento interno para Calibración de estaciones Meteorológicas (Velocidad de viento, dirección de viento y precipitación)

6.- TRAZABILIDAD

Los resultados de la calibración realizada tienen trazabilidad a los patrones nacionales del INACAL - DM , en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI) y el Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú (SLUMP).

N° de Certificado	Patrón utilizado	Marca	Modelo
AVM412020002 TSI / ALNOR	TermoAnemómetro con una resolución de 0,01 m/s y una exactitud de 0,025 m/s	TSI ALNOR	AVM410
1AP-2214-2024 METROIL	Barómetro patrón con una resolución de 0,01 mbar y una incertidumbre máxima de 0,7 mbar	AQUATECH SCIENTIFIC INSTRUMENTS	DBX2
LLA-443-2018 INACAL / DM	Transportador universal de Angulos con una incertidumbre máxima de 0,01 °.	No indica	No indica
MV24-C-1167 KOSSOMET	Probeta graduada con una incertidumbre maxima de 0,033 ml.	ISOLAB	No indica

OBSERVACIONES

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO".
- La periodicidad de la calibración está en función al uso y mantenimiento del equipo de medición.
- La incertidumbre de la medición ha sido determinada usando un factor de cobertura k=2 para un nivel de confianza aproximado del 95%.
- Sensor de Anemómetro Marca: LSI LASTEM Modelo: DNB105.2 SN: 21020373/21005921 Código: 60227804-0010.
- Sensor Pluviómetro Marca: LSI LASTEM Modelo: DQA231.1 SN: 21020274 Código: 60227818-0024.
- Sensor de presión Marca: LSI LASTEM Modelo: DQA251 SN: 21040105+3000825 Código: 60227808-0018.

Certificado de Calibración OHLTH-584-2024

7.- RESULTADOS

PRESIÓN ATMOSFERICA

PACV	Indicación del Barómetro	Error	Incertidumbre
hPa	hPa	hPa	hPa
600,00	600,32	0,32	0,84
800,00	800,57	0,57	0,84
1010,00	1010,94	0,94	0,84

PACV: Presión atmosférica Convencionalmente Verdadera

VELOCIDAD DEL VIENTO

VCV	Indicación del Anemómetro	Error	Incertidumbre
m/s	m/s	m/s	m/s
0,50	0,52	0,02	0,46
5,00	5,11	0,11	0,46
10,00	10,16	0,16	0,46

VCV: Velocidad Convencionalmente Verdadera

PRECIPITACIÓN (DAILY RAIN)

VCV	Indicación del Pluviómetro	Error	Incertidumbre
mm	mm	mm	mm
0,2	0,1	-0,1	0,4
5,0	5,2	0,2	0,4
9,0	9,3	0,3	0,4

VCV: Valor Convencionalmente Verdadera

DIRECCIÓN DEL VIENTO

VCV	Indicación del Pluviómetro	Error	Incertidumbre
°	°	°	°
0,0	0,0	0,0	0,3
90,0	90,2	0,2	0,3
180,0	180,3	0,3	0,3
270,0	270,8	0,8	0,3

VCV: Valor Convencionalmente Verdadera

(Fin del documento)



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN
ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE
ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LC - 029



Registro N° LC - 029

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN OHLTH-359-2024

1.- SOLICITANTE

Razón social: ORGANISMO DE EVALUACION Y FISCALIZACION AMBIENTAL - OEFA
Dirección: AV. FAUSTINO SANCHEZ CARRION NRO. 603 LIMA - LIMA - JESUS MARIA
OTI: LC-609

Este certificado de Calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales (INACAL) y/o internacionales.

OHLAB S.A.C. custodia, conserva y mantiene sus patrones en áreas con condiciones ambientales controladas, realiza mediciones metrologicas a solicitud de los interesados, promueve el desarrollo de la metrologia en el pais y contribuye a la difusión del sistema legal de unidades del medida del Perú.

OHLAB S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento o equipo después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario debe tener un control de mantenimiento y recalibraciones apropiadas para cada instrumento.

2.- INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

Estación Meteorológica

Marca: MAIGRAI
Modelo: M01
N° de Serie: CE0170
Código de identif.: 67228802-0040
Intervalo de Medición: -40 °C a 80 °C
Intervalo de Medición: 0 % hr a 100 % hr
Resolución: 0,01 ° C / 0,01 % hr
Procedencia: Irlanda

3.- PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

La calibración se efectuó según el PC-026 "PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACIÓN DE HIGRÓMETROS Y TERMÓMETROS AMBIENTALES" Del INACAL

4.- FECHA Y LUGAR DE CALIBRACIÓN

- * El instrumento fue calibrado el 2024 - 10 - 26.
- * La calibración se realizó en el Área de Temperatura del Laboratorio OHLAB.

5.- TRAZABILIDAD

N° de Certificado	Patrón utilizado	Marca	Modelo
LHA-0470-2024 / LHA-0471-2024	Termohigrómetro Digital	LUTRON	HT-3027
ALAB			

6.- CONDICIONES AMBIENTALES

Temperatura	22,1 °C	± 0,3 °C
Humedad	56,6 % hr	± 0,3 % hr

Este certificado de calibración solo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos y/o modificaciones requieren la autorización del Laboratorio de Metrología OHLAB. Certificado sin firma y sello carecen de validez.

Los resultados de este certificado no deben utilizarse como certificado de conformidad de producto.

Fecha de emisión: 2024 - 10 - 26.

Sello



OCCUPATIONAL HYGIENE LABORATORY S.A.C.

Juan Diego Arribasplata
JEFE DE LABORATORIO DE METROLOGIA



OCCUPATIONAL HYGIENE LABORATORY S.A.C.

Laboratorio de Metrología
Avenida La Marina 365, La Perla, Callao - Perú
Telf.: (01) 454 3009 Cel.: (+51) 983 731 672
Email: comercial@ohlaboratory.com
Web: www.ohlaboratory.com

Pág. 1 de 2

FGC-042/JUNIO 2023/Rev.06

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN OHLTH-359-2024

7.- RESULTADOS

TEMPERATURA

TCV	Indicación del Termómetro	Corrección	Incertidumbre
° C	° C	° C	° C
10,61	10,21	0,40	1,15
25,28	25,18	0,10	0,96
38,75	39,48	-0,73	1,06

TCV: Temperatura Convencionalmente Verdadera

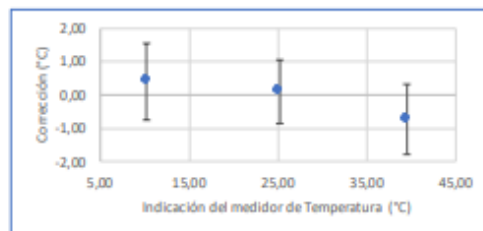


Figura 1.- Curva de calibración del medidor de Temperatura.

HUMEDAD RELATIVA

HRCV	Indicación del Higrómetro	Corrección	Incertidumbre
% hr	% hr	% hr	% hr
21,17	18,48	2,69	3,70
31,57	27,68	3,89	3,66
61,57	55,48	6,09	3,61
84,95	83,73	1,22	3,50

HRCV: Humedad Relativa Convencionalmente Verdadera

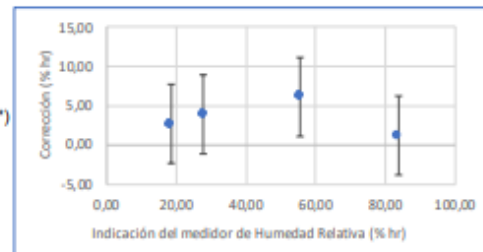


Figura 2.- Curva de calibración del medidor de Humedad Relativa.

7.1.- NOTAS

- * El tiempo mínimo de estabilización fue de al menos 30 minutos.
- * Los datos obtenidos son el resultado del promedio de 10 mediciones por punto de calibración.
- * Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO".
- * La periodicidad de la calibración esta en función al uso y mantenimiento del equipo de medición.
- * La incertidumbre de la medición ha sido determinada usando un factor de cobertura k=2 para un nivel aproximado de confianza del 95%.
- * Módulo de sensores Marca: LSI LASTEM SN: 21020260 Código: 60227813-0027
- * (**) Punto de calibración No Acreditado (fuera de nuestro alcance de calibración).

(Fin del Documento)

HOJA DE VIDA DE EQUIPAMIENTO

DATOS GENERALES							
Nombre del Equipo:	REGISTRADOR DE DATOS - DATA LOGGER (Estación meteorológica) ESTACION METEOROLOGICA						
Marca:	MAIGRAI						
Modelo:	M01						
Serie:	CE0170						
Código Patrimonial:	672288020040						
Ubicación:	---						
Documentación :	Manual de consola y accesorios						
Accesorios:	1	CONSOLA			7	SENSOR DE HUMEDAD	
	2	SENSOR DE VELOCIDAD			8	SENSOR DE TEMPERATURA	
	3	SENSOR DE DIRECCION			9	LLAVE ALLEN	
	4	TRIPODE			10	PILA DE 3.6 VOLTIOS	
	5	PANEL SOLAR + BATERIA			11		
	6	PLUVIOMETRO			12		
CARACTERISTICAS TÉCNICAS METROLÓGICAS DEL EQUIPO							
Magnitud:	Temperatura, Humedad, Velocidad, Dirección,		Resolución:		0,1°C, 1 %hr, 0,1 m/s, 0,1 mm, 0,2 mm, 1W/m²		
Rango de medida:	40 a 65°C / 1 a 100%hr, 1 a 80 m/s, 0 a 6553		Clase de exactitud:		± 0,5°C / ± 3%hr / ± 5 % , ± 3" / ± 20mm/h , .1 mbar , ± 5		
CONTROL DE ACTIVIDADES							
		C: Calibración			V: Verificación	M: Mantenimiento	
Fecha	Actividad			Realizado por	Descripción	Conforme/ No conforme	
	C	V	M				
24/02/2021	x			LSI LASTEM	Calibración al pluviometro: N.210209286	Conforme	
23/02/2021	x			LSI LASTEM	Calibración al sensor de temperatura: N.210209256	Conforme	
13/04/2021	x			LSI LASTEM	Calibración al sensor de presión barométrica: N.210409480	Conforme	
18/03/2021	x			LSI LASTEM	Calibración al Anemometro: N.210309368	Conforme	
12/04/2022	x			Green Group PE S.A.C	Calibración al sensor de velocidad y dirección de viento: LM-2642022	Conforme	
9/04/2022	x			Green Group PE S.A.C	Calibración al sensor de temperatura: LM-2622022	Conforme	
9/04/2022	x			Green Group PE S.A.C	Calibración al sensor de presión barométrica: LM-2662022	Conforme	
12/04/2022	x			Green Group PE S.A.C	Calibración al sensor pluviometro: LM-2652022	Conforme	
9/04/2022	x			Green Group PE S.A.C	Calibración al sensor de humedad: LM-2632022	Conforme	
30/05/2023			x	Green Group PE S.A.C	Informe de mantenimiento preventivo MANP-3262023	Conforme	
9/06/2023	x			Green Group PE S.A.C	Calibración al sensor de velocidad y dirección de viento (anemometro): LM-3192023	Conforme	
6/06/2023	x			Green Group PE S.A.C	Calibración al sensor de temperatura: LM-3182023	Conforme	
7/06/2023	x			Green Group PE S.A.C	Calibración al sensor de presión barométrica (Barómetro): LM-3172023	Conforme	
9/06/2023	x			Green Group PE S.A.C	Calibración al sensor pluviometro: LM-3202023	Conforme	

CONTROL DE ACTIVIDADES							
		C: Calibración			V: Verificación	M: Mantenimiento	
Fecha	Actividad			Realizado por	Descripción	Conforme/ No conforme	
	C	V	M				
5/06/2023	x			Green Group PE S.A.C	Calibración al sensor de humedad: LM-2632022	Conforme	
22/10/2024			x	OHLAB	Reporte técnico de información de equipos OHLAB-IM-24-28	Conforme	
26/10/2024	x			OHLAB	Certificado de calibración (Temperatura y humedad relativa) OHLTH-359-2024	Conforme	
26/10/2024	x			OHLAB	Certificado de calibración (Presión atmosférica, velocidad del viento, dirección del viento y precipitación) OHLTH-359-2024	Conforme	



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LF - 291-2024

Pág. 1 de 2

1. **Solicitante** : ORGANISMO DE EVALUACIÓN Y FISCALIZACIÓN AMBIENTAL - OEFA
2. **Dirección** : Av. Faustino Sánchez Carrión Nro. 603 - Jesús María - Lima
3. **OTI** : 541C
4. **Datos del Instrumento**
- Instrumento de medición** : Monitor continuo de material particulado
- Marca** : Grimm
- Modelo** : EDM 180
- Serie** : 18A20130
- Resolución** : 0,001 L/min
- Intervalo de indicación** : 1,200 L/min
- Procedencia** : Alemania
- Identificación / Código interno** : 60223671-0016*
5. **Lugar de Calibración** : Laboratorio de Flujo de aire - Green Group PE SAC.
6. **Fecha de Calibración** : 2024-08-09
7. **Método de Calibración.**

La calibración de Caudal se realizó por comparación del instrumento con patrones trazables según " Procedimiento ME-009 para la calibración de caudalímetro gases" Edición 1, 2021-03-15 CEM - España (Numeral 5.3.1 - calibración en situación A)

- . La Incertidumbre de medición expandida reportada es la incertidumbre de medición estándar multiplicada por el factor de cobertura $k=2$ de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95%.
- . Los resultados emitidos son válidos solo para el instrumento en el momento de la calibración.
- . Se recomienda al usuario recalibrar a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base a las características del instrumento.
- . La incertidumbre declarada en el presente certificado ha sido estimado siguiendo las directrices de: "Guía para la expresión de la incertidumbre de medida" primera edición, septiembre 2008 CEM.
- . El certificado de calibración solo puede ser difundido completamente y sin modificaciones, sin firma y sellos carecen de validez.
- . Esta prohibida toda reproducción parcial del presente certificado sin la autorización previa de GREEN GROUP PE S.A.C.

Fecha de Emisión

2024-08-15



ENZO BARRERA ZAVALA
Gerente de Operaciones
GREEN GROUP PE S.A.C.

EL USO INDEBIDO DE ESTE CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CONSTITUTE DELITO SANCIONADO CONFORME A LEY*

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LF - 291-2024

Pág. 2 de 2

8. Condiciones Ambientales :

	Temperatura (°C)	Humedad relativa (% H.R.)	Presión atmosférica (mbar)
Inicial	20,6	49,1	999,2
Final	21,2	49,5	999,7

9. Trazabilidad

Patrón	Código Interno	N° de Serie/Certificado	F. Vencimiento
Medidor de Caudal	GGP-F-06	LFG-015-2023	2025-03-24

10. Resultado de Medición.

Patrón (L/min)	Instrumento Q (L/min)	Error (L/min)	Incertidumbre (L/min)
1,209	1,201	-0,008	0,01

11. Observaciones:

- El tiempo de estabilización de la lectura es de 10 minutos.
- El error máximo permitido de caudal (flujo) es de $\pm 2,1\%$.

“EL USO INDEBIDO DE ESTE CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LEY”



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LF - 2892024

Pág. 1 de 3

1. Solicitante : ORGANISMO DE EVALUACIÓN Y FISCALIZACIÓN AMBIENTAL - OEFA
2. Dirección : Av. Faustino Sánchez Carrión Nro. 603 - Jesús María - Lima
3. OTI : 541C
4. Datos del Instrumento
- Instrumento de medición : Monitor continuo de material particulado
- Marca : Grimm
- Modelo : EDM 180
- Serie housing : 18A20130
- Serie Espectrómetro : 8HG20130
- Procedencia : Alemania
- Identificación / Código interno : 60223671-0016*
5. Lugar de Calibración : Laboratorio de Flujo de aire - Green Group PE SAC.
6. Fecha de Calibración : 2024-08-09
7. Método de Calibración.

La calibración se realizó por comparación del instrumento con patrones trazables según "PCG-012 Procedimiento para la Calibración de Muestreadores de partículas Grimm con Torre de calibración con Espectrómetro calibrado y utilizando una torre de calibración (Micro Dolomit DR90 - Green Group® polydisperse powder 0,1 um - 180 um)

-
- . La Incertidumbre de medición expandida reportada es la incertidumbre de medición estándar multiplicada por el factor de cobertura $k=2$ de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95%.
 - . Los resultados emitidos son válidos solo para el instrumento en el momento de la calibración.
 - . Se recomienda al usuario recalibrar a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base a las características del instrumento.
 - . La incertidumbre declarada en el presente certificado ha sido estimado siguiendo las directrices de: "Guía para la expresión de la incertidumbre de medida" primera edición, septiembre 2008 CEM.
 - . El certificado de calibración solo puede ser difundido completamente y sin modificaciones, sin firma y sellos carecen de validez.
 - . Esta prohibida toda reproducción parcial del presente certificado sin la autorización previa de GREEN GROUP PE S.A.C.
-

Fecha de Emisión

2024-08-15



ENZO BARRERA ZAVALA
Gerente de Operaciones
GREEN GROUP PE S.A.C.

"EL USO INDEBIDO DE ESTE CERTIFICADO DE CALIBRACION CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LEY"

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LF - 2892024

Pág. 2 de 3

8. Condiciones Ambientales :

	Temperatura (°C)	Humedad relativa (% H.R)	Presión atmosférica (mbar)
Inicial	20,1	48,5	999,5
Final	19,8	49,2	999,7

9. Patrones de referencia.

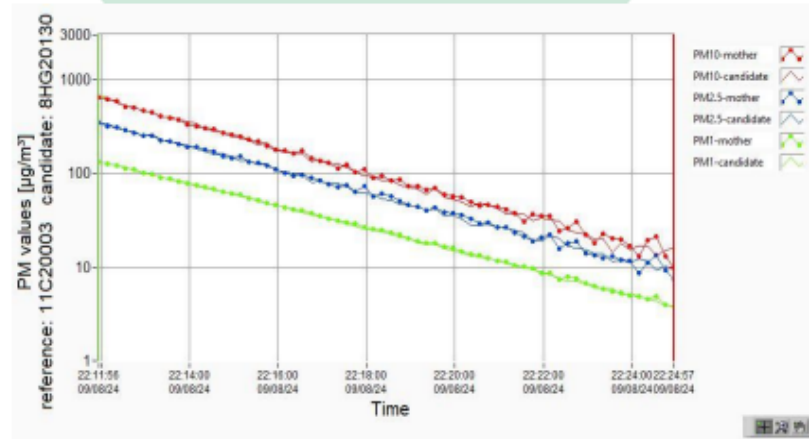
Patrón	Marca	Modelo	Serie	Código Interno	N°Lote/Certificado	F. Vencimiento
Espectrómetro	Grimm	EDM 280	28024012	GGP-SPECT-03	28024012	2025-02-14
Termohigrómetro	EXTECH INSTRUMENTS	42280	10467506	GGP-TH-06	1AT-0639-2023	2025-03-02
Barómetro	Traceable	4247 37950-04	210377610	GGP-BTH-02	1AP-1873-2023	2025-06-13

10. Resultado de Medición.

	Patrón	Instrumento	Corrección	Incertidumbre
T (°C)	19,9	20,2	-0,3	0,6
Humedad (%HR)	48,8	50,1	-1,3	3,6
Presión (mbar)	999,6	999,0	0,6	1,2

Valores de masa del espectrómetro en la torre de calibración

	Patrón ug/m3	Instrumento ug/m3	Desviación ug/m3	%	Incertidumbre ug/m3
PM-10	160,9	159,6	-1,3	-0,8	2,0
PM-2.5	92,8	92,5	-0,3	-0,3	2,0
PM-1.0	37,8	37,3	-0,5	-1,3	2,0

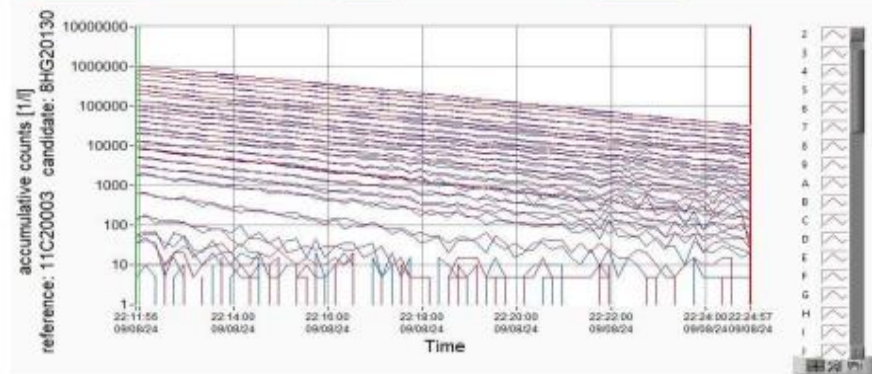


"EL USO INDEBIDO DE ESTE CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LEY"

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LF - 2892024

Pág. 3 de 3

Valores de conteo del Espectrómetro en la Torre de Calibración										
Canales		0	1	2	3	4	5	6	7	
Diámetro (µm)		> 0,25	> 0,28	> 0,30	> 0,35	> 0,40	> 0,45	> 0,50	> 0,58	
Concentración [p/l]	Referencia	292026	238795	184068	132993	92201	69414	55990	37694	
	Unidad	292190	240769	183962	132520	91856	67673	54792	36944	
Desviación %		0,1	0,8	-0,1	-0,4	-0,4	-2,6	-2,2	-2,0	
Canales		8	9	A	B	C	D	E	F	
Diámetro (µm)		> 0,65	> 0,70	> 0,80	> 1,00	> 1,30	> 1,60	> 2,00	> 2,50	
Concentración [p/l]	Referencia	27247	27010	21477	15119	10786	7279	5517	3418	2146
	Unidad	26837	21265	15047	10813	7304	5511	3400	2092	
Desviación %		-0,6	-1,0	-0,5	0,2	0,3	-0,1	-0,5	-2,6	
Canales		G	H	I	J	K	L	M	N	
Diámetro (µm)		> 2,50	> 3,00	> 3,50	> 4,00	> 5,00	> 6,50	> 7,50	> 8,50	
Concentración [p/l]	Referencia	2127	1228	723	442	130	29	11	6	
	Unidad	2117	1208	729	431	127	29	10	5	
Desviación %		-0,5	-1,7	0,8	-2,6	-2,4	0,0	-10,0	-20,0	
Canales		O	P	Q	R	S	T	U	V	
Diámetro (µm)		> 10,00	> 12,50	> 15,00	> 17,50	> 20,00	> 25,00	> 30,00	> 32,00	
Concentración [p/l]	Referencia	2	1	0	0	0	0	0	0	
	Unidad	1	0	0	0	0	0	0	0	
Desviación %		100,0	100	0	0	0	0	0	0	



11. Observaciones:

- a) El error máximo permitido del control de masa es de $\pm 5\%$.
- b) El error máximo permitido de temperatura es de $\pm 2,1$ °C.
- c) El error máximo permitido de presión es de $\pm 13,4$ hPa.
- * Dato proporcionado por el usuario.

Los EMP fueron tomados del Protocolo de monitoreo ambiental 2019.

"EL USO INDEBIDO DE ESTE CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LEY"

HOJA DE VIDA DE EQUIPAMIENTO

DATOS GENERALES						
Nombre del Equipo:	MONITOR DE PARTICULAS					
Marca:	GRIMM					
Modelo:	EDM180					
Serie:	18A20130					
Código Patrimonial:	602236710016					
Ubicación:	SOCABAYA					
Documentación :	Stationry Environmental Dust Measurement Device Model EDM 180					
Accesorios:	1				7	
	2				8	
	3				9	
	4				10	
	5				11	
	6				12	
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS METROLÓGICAS DEL EQUIPO						
Magnitud:	PM10, PM2.5			Resolución:	0.1 ug/m3	
Rango de medida:	0 - 10 000 µg/m³ (PM10), 0 - 6 000 µg/m³			Clase de exactitud:	±3%	
CONTROL DE ACTIVIDADES						
Fecha	C: Calibración			V: Verificación	M: Mantenimiento	
	C	V	M	Realizado por	Descripción	Conforme/ No conforme
15/02/2021	x			Grimm Aerosol Technik	Calibración	Conforme
21/03/2022 al 24/03/2022	x			Green Group	Certificado de calibracion LF-0942022	Conforme
17/05/2023	x			Green Group S.A.C.	Certificado de calibracion (caudal) LF-099-2023	Conforme
10/5/2023 al 17/05/2023	x			Green Group S.A.C.	Certificado de calibracion (T,P,masa) LF-1952023	Conforme
8/08/2024			x	Green Group S.A.C.	Informe de mantenimiento preventivo MANP-1822024	Conforme
9/08/2024	x			Green Group S.A.C.	Certificado de calibracion LF-2892024 (Temperatura, presión, masa)	Conforme
9/08/2024	x			Green Group S.A.C.	Certificado de calibración LF-291-2024 (Caudal)	Conforme