

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**“Evaluación de los factores meteorológicos en la
concentración de partículas menores a 10 micrómetros en el
mercado mayorista de Puelles, Huánuco – 2025”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AMBIENTAL**

AUTOR: Villanueva Cajahuaman, Frey Bruce

ASESOR: Cajahuanca Torres, Raul

HUÁNUCO – PERÚ
2025

U

D

H

**TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional ()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Contaminación Ambiental
AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería Ambiental

Disciplina: Ingeniería Ambiental y Geológica

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Titulo
Profesional de ingeniero ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 72121854

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI):22511841

Grado/Título: Maestro en gestión publica

Código ORCID: 0000-0002-5671-1907

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Morales Aquino, Milton Edwin	Maestro en ingeniería, con mención en: gestión ambiental y desarrollo sostenible	44342697	0000-0002 2250-3288
2	Bonifacio Munguía, Jonathan Oscar	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental	46378040	0000-0002- 3013-8532
3	Vasquez Baca, Yasser	Titulo oficial de master universitario en: Planificación territorial y gestión Ambiental	42108318	0000-0002- 7136-697X



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO(A) AMBIENTAL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 17:00 horas del día 22 del mes de octubre del año 2025, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron el sustentante y el **Jurado Calificador** integrado por los docentes:

- Mg. Milton Edwin Morales Aquino (Presidente)
- Mg. Yasser Vasquez Baca (Secretario)
- Mg. Jonathan Oscar Bonifacio Munguia (Vocal)

Nombrados mediante la **Resolución N° 2170-2025-D-FI-UDH** para evaluar la Tesis intitulada: **"Evaluación de los factores meteorológicos en la concentración de partículas menores a 10 micrómetros en el mercado mayorista de Puelles, Huánuco - 2025"**, presentado por el (la) Bach. **FREY BRUCE, VILLANUEVA CAJAHUAMAN**, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) APROBADO Por UNANIMIDAD con el calificativo cuantitativo de 12 y cualitativo de SUFICIENTE (Art. 47)

Siendo las 18:05 horas del día 22 del mes de OCTUBRE del año 2025, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

Mg. Milton Edwin Morales Aquino
DNI: 44342697
ORCID: 0000-0002-2250-3288
Presidente

Mg. Yasser Vasquez Baca
DNI: 42108318
ORCID: 0000-0002-7136-697X
Secretario

Mg. Jonathan Oscar Bonifacio Munguia
DNI: 46378040
ORCID: 0000-0002-3013-8532
Vocal





UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: FREY BRUCE VILLANUEVA CAJAHUAMAN, de la investigación titulada "EVALUACIÓN DE LOS FACTORES METEOROLÓGICOS EN LA CONCENTRACIÓN DE PARTÍCULAS MENORES A 10 MICRÓMETROS EN EL MERCADO MAYORISTA DE PUELLES, HUÁNUCO - 2025", con asesor(a) RAÚL CAJAHUANCA TORRES, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 0190-2025-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA AMBIENTAL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 21 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 21 de agosto de 2025



RICHARD J. SOLIS TOLEDO
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

143. Villanueva Cajahuaman, Frey Bruce.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

21 %	21 %	9 %	8 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3 %
2	www.ecologiaverde.com Fuente de Internet	2 %
3	www.eurofins-environment.es Fuente de Internet	1 %
4	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	1 %
5	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	1 %



RICHARD J. SOLIS TOLEDO
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

DEDICATORIA

A Dios, fuente inagotable de fortaleza y sabiduría, por iluminarme y acompañarme en cada etapa de este recorrido académico.

A mis padres Delia y Teodoro cuyo amor incondicional, esfuerzo constante y ejemplo de perseverancia han sido el motor que me impulsa a seguir creciendo, mi madre que siempre me estuvo apoyando desde el cielo ha sido fundamental para alcanzar esta meta.

A mi familia, en especial a mis hermanos Alex, Rusbel y Silvia por su confianza en mis capacidades y sus palabras de aliento en los momentos más exigentes.

Y a todos mis amigos que han sido parte de esta etapa tan significativa de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento al Mg. Cajahuanca Torres, Raúl, por su acompañamiento comprometido y sus valiosos aportes durante el desarrollo de esta investigación. Su guía, experiencia y exigencia académica fueron claves para consolidar esta tesis.

A la Universidad, por brindarme las herramientas y el espacio para crecer profesionalmente, así como a todos los docentes que compartieron sus conocimientos a lo largo de mi formación.

A las instituciones que facilitaron la obtención de información necesaria para este estudio, y a cada persona que colaboró de forma directa o indirecta, haciendo posible esta investigación.

Finalmente, gracias a la vida por brindarme la oportunidad de contribuir, desde la ciencia, al cuidado del medio ambiente y la mejora de la calidad del aire en nuestra ciudad.

INDICE

AGRADECIMIENTOS	III
INDICE DE TABLAS.....	IX
INDICE DE FIGURA.....	XI
RESUMEN	XIII
ABSTRACT	XIV
INTRODUCCIÓN.....	XV
CAPÍTULO I	16
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	16
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	16
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	18
1.2.1 PROBLEMA GENERAL.....	18
1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS	18
1.3 OBJETIVO GENERAL	19
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.6 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	21
1.7 VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	21
CAPÍTULO II.....	22
MARCO TEÓRICO.....	22
1.8 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
1.8.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES	22
1.8.2 ANTECEDENTES NACIONALES.....	25
1.8.3 ANTECEDENTES LOCALES	29
1.9 BASES TEÓRICAS.....	33
1.9.1 NORMATIVA	33
1.9.2 MARCO INSTITUCIONAL SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL PERÚ.....	34

1.9.3	MERCADO MAYORISTA SEÑOR DE PUELLES.....	35
1.9.4	CALIDAD DEL AIRE	36
1.9.5	COMPONENTES DEL AIRE	37
1.9.6	FUNCIONES DEL AIRE	38
1.9.7	PROPIEDADES FÍSICAS DEL AIRE.....	39
1.9.8	PROPIEDADES QUÍMICAS DEL AIRE	40
1.9.9	ÍNDICE DE CALIDAD DE AIRE	40
1.9.10	CÓMO SE CALCULA EL ÍNDICE DE CALIDAD EL AIRE 41	
1.9.11	CONTAMINACIÓN DEL AIRE	43
1.9.12	CONTAMINACIÓN POR EL SER HUMANO	43
1.9.13	FUENTES DE CONTAMINACIÓN NATURALES	44
1.9.14	CAUSAS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE	45
1.9.15	CONSECUENCIAS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE 45	
1.9.16	PARTÍCULAS MENORES A 10 MICRÓMETROS (PM10) 46	
1.9.17	FUENTES DE EMISIÓN Y APLICACIONES DE LAS PM10 46	
1.9.18	EFFECTOS SOBRE LA SALUD HUMANA Y EL MEDIO AMBIENTE.....	47
1.9.19	IMPACTO AMBIENTAL Y SOCIAL DE LAS PARTÍCULAS PM10 47	
1.9.20	EFFECTOS SOBRE EL MEDIOAMBIENTE	48
1.9.21	CLASIFICACIÓN DE LAS PARTÍCULAS PM10 SEGÚN SU TAMAÑO.....	49
1.9.22	COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS PARTÍCULAS PM10 50	

1.9.23	PERMANENCIA DE LAS PARTÍCULAS PM10 EN EL AIRE	50
1.9.24	CLASIFICACIÓN DE LAS PARTÍCULAS PM10 SEGÚN SU ORIGEN.....	51
1.9.25	FUENTES FIJAS O ESTACIONARIAS.....	51
1.9.26	FUENTES MÓVILES	52
1.9.27	LEGISLACIÓN APLICABLE PARA LAS PARTÍCULAS PM10	52
1.9.28	TÉCNICAS DE MEDICIÓN	53
1.10	DEFINICIONES CONCEPTUALES	57
1.10.1	AIRE	57
1.10.2	NITRÓGENO	57
1.10.3	DIÓXIDO DE CARBONO.....	57
1.10.4	PRESIÓN.....	57
1.10.5	CALIDAD DE AIRE.....	58
1.10.6	PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN.....	58
1.10.7	OZONO TROPOSFÉRICO	58
1.10.8	MICRÓMETROS.....	58
1.10.9	ESPECTROMETRÍA.....	58
1.10.10	ULTRAVIOLETA.....	58
1.11	HIPOTESIS.....	59
1.11.1	HIPÓTESIS GENERAL.....	59
1.11.2	HIPÓTESIS ESPECÍFICA	59
1.12	VARIABLES	60
1.12.1	VARIABLE DE CARACTERIZACIÓN	60
1.12.2	VARIABLE DE INTERÉS.....	60
1.13	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	60
	CAPÍTULO III.....	63

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN	63
1.14 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	63
1.15 ENFOQUE	63
1.16 ALCANCE O NIVEL	63
1.17 DISEÑO	63
1.18 POBLACIÓN Y MUESTRA	63
1.18.1 POBLACIÓN.....	63
1.18.2 MUESTRA	64
1.19 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	64
1.19.1 PROTOCOLO DE DESARROLLO DEL ESTUDIO	65
1.20 TÉCNICAS Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	66
CAPÍTULO IV	67
RESULTADOS	67
1.21 PROCESAMIENTO DE DATOS	67
1.21.1 CONCENTRACIÓN DE PARTÍCULAS MENORES DE 10 MICRÓMETROS (PM ₁₀)	67
1.21.2 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS DEL AIRE EN LOS PUNTOS DE MONITOREO.....	68
1.21.3 ACTIVIDADES RELACIONADAS CON LA VARIABILIDAD DE PM ₁₀ EN EL MERCADO MAYORISTA DE PUELLES.....	79
1.21.4 ROSA DE VIENTO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE POTENCIALES AFECTADOS EN EL MERCADO MAYORISTA DE PUELLES.....	82
1.22 PRUEBA DE HIPÓTESIS	83
1.22.1 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS GENERAL	89
CAPÍTULO V	95
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	95

CONCLUSIONES.....	98
RECOMENDACIONES	99
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100
ANEXOS	107

INDICE DE TABLAS

TABLA 1 NORMATIVA SOBRE CALIDAD Y GESTIÓN DEL AIRE EN EL PERÚ.....	33
TABLA 2 MARCO INSTITUCIONAL SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE EN PERÚ.....	34
TABLA 3 CLASIFICACIÓN DE LAS PARTÍCULAS PM ₁₀ SEGÚN SU TAMAÑO	50
TABLA 4 VALORES PARA PM ₁₀ EN EL AIRE	53
TABLA 5 CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	61
TABLA 6 COORDENADAS DE LOS 4 PUNTOS QUE CONFORMAN EL MERCADO MAYORISTA DE PUELLES	64
TABLA 7 COORDENADAS DE UBICACIÓN DE LAS CUATRO ESTACIONES.....	64
TABLA 8 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	65
TABLA 9 CONCENTRACIÓN DE PARTÍCULAS MENORES A 10 MICRÓMETROS (PM ₁₀) EN EL MERCADO MAYORISTA DE PUELLES DURANTE CUATRO DÍAS DE MONITOREO	67
TABLA 10 TEMPERATURA HORARIA REGISTRADA EN EL MERCADO MAYORISTA DE PUELLES DURANTE CUATRO DÍAS DE MONITOREO	68
TABLA 11 VELOCIDAD HORARIA DEL VIENTO REGISTRADA EN EL MERCADO MAYORISTA DE PUELLES DURANTE CUATRO DÍAS DE MONITOREO.....	71
TABLA 12 REGISTRO HORARIO DE PRECIPITACIÓN DURANTE CUATRO DÍAS DE MONITOREO EN EL MERCADO MAYORISTA DE PUELLES.....	78
TABLA 13 RELACIÓN ENTRE LOS NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE PM ₁₀ Y LA CANTIDAD DE PUESTOS DE VENTA.....	79
TABLA 14 RELACIÓN ENTRE LOS NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE PM ₁₀ Y LA CANTIDAD DE VEHÍCULOS DE CARGA	80
TABLA 15 RELACIÓN ENTRE LOS NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE PM ₁₀ Y LA CANTIDAD DE EDIFICACIONES CERCANAS Y DENTRO DEL MERCADO (CASAS, CENTROS COMERCIALES, BODEGAS, ETC.).....	81

TABLA 16 CUMPLIMIENTO DEL ESTÁNDAR DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA PM ₁₀ EN ESTACIONES DE MONITOREO DEL MERCADO MAYORISTA DE PUELLES, SEGÚN EL D.S. N. ° 003-2017-MINAM.....	84
TABLA 17 RELACIÓN ENTRE CONCENTRACIÓN DE PM ₁₀ Y FACTORES ASOCIADOS A LA ACTIVIDAD COMERCIAL, CARGA VEHICULAR Y PRESENCIA DE EDIFICACIONES	85
TABLA18 RELACIÓN ENTRE LA CONCENTRACIÓN DE PM ₁₀ Y LAS ACTIVIDADES EN EL MERCADO MAYORISTA DE PUELLES	86
TABLA 19 RELACIÓN ENTRE LOS NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE PM ₁₀ , LA VELOCIDAD DEL VIENTO Y LA TEMPERATURA.....	87
TABLA 20 PM ₁₀ Y CONDICIONES METEOROLÓGICAS.....	88
TABLA 21 PM ₁₀ Y VARIABLES METEOROLÓGICAS Y ACTIVIDADES EN EL MERCADO DE PUELLES	90
TABLA 22 MATRIZ DE CORRELACIÓN DE PEARSON ENTRE ESTACIONES DE MUESTREO DE PM ₁₀ Y VARIABLES METEOROLÓGICAS EN EL MERCADO MAYORISTA DE PUELLES	93
TABLA 23 MATRIZ DE CORRELACIÓN DE PEARSON ENTRE EL PROMEDIO DE PM ₁₀ Y VARIABLES ANTRÓPICAS EN EL MERCADO MAYORISTA DE PUELLES.....	94

INDICE DE FIGURA

FIGURA 1 EL AIRE Y SUS COMPONENTES O GASES.....	38
FIGURA 2 COLORES SEGÚN LA CATEGORÍA.....	43
FIGURA 3 COMPARACIÓN DE LOS NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE PM ₁₀ EN CUATRO PUNTOS DE MONITOREO DEL MERCADO MAYORISTA DE PUELLES DURANTE CUATRO DÍAS, EN RELACIÓN CON EL ECA PARA AIRE	67
FIGURA 4 VARIACIÓN HORARIA DE LA TEMPERATURA DURANTE EL DÍA 1.....	69
FIGURA 5 VARIACIÓN HORARIA DE LA TEMPERATURA DURANTE EL DÍA 2.....	69
FIGURA 6 VARIACIÓN HORARIA DE LA TEMPERATURA DURANTE EL DÍA 3.....	70
FIGURA 7 VARIACIÓN HORARIA DE LA TEMPERATURA DURANTE EL DÍA 4.....	70
FIGURA 8 VARIACIÓN HORARIA DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO DURANTE EL DÍA 1	72
FIGURA 9 VARIACIÓN HORARIA DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO DURANTE EL DÍA 2	72
FIGURA 10 VARIACIÓN HORARIA DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO DURANTE EL DÍA 3	73
FIGURA 11 VARIACIÓN HORARIA DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO DURANTE EL DÍA 4	73
FIGURA 12 ROSA DE VIENTO DE LA DIRECCIÓN Y VELOCIDAD DEL VIENTO DEL PUNTO P - 01.....	74
FIGURA 13 ROSA DE VIENTO DE LA DIRECCIÓN Y VELOCIDAD DEL VIENTO DEL PUNTO P - 02.....	75
FIGURA 14 ROSA DE VIENTO DE LA DIRECCIÓN Y VELOCIDAD DEL VIENTO DEL PUNTO P - 03.....	76
FIGURA 15 ROSA DE VIENTO DE LA DIRECCIÓN Y VELOCIDAD DEL VIENTO DEL PUNTO P - 04.....	77
FIGURA 16 COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE PM ₁₀ Y LA CANTIDAD DE PUESTOS DE VENTA.....	79

FIGURA 17 COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE PM_{10} Y LA CANTIDAD DE VEHÍCULOS DE CARGA	80
FIGURA 18 COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE PM_{10} Y LA CANTIDAD DE EDIFICACIONES CERCANAS Y DENTRO DEL MERCADO	81
FIGURA 19 DIRECCIÓN DEL VIENTO EN LOS PUNTOS DE MONITOREO SUPERPUESTOS AL MAPA DEL MERCADO MAYORISTA DE PUELLES..	82
FIGURA 20 ESTÁNDAR DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA PM_{10} EN ESTACIONES DEL MERCADO MAYORISTA DE PUELLES DURANTE CUATRO DÍAS DE MONITOREO	84
FIGURA 21 COMPARACIÓN DIARIA DE PM_{10} CON LA ACTIVIDAD COMERCIAL, VEHICULAR Y URBANA EN LAS ESTACIONES DE MONITOREO.....	86
FIGURA 22 COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DIARIA DE PM_{10} CON LOS PUESTOS DE VENTA, VEHÍCULOS Y CASAS.....	87
FIGURA 23 VARIACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE PM_{10} EN RELACIÓN CON LA VELOCIDAD DEL VIENTO Y LA TEMPERATURA POR ESTACIÓN Y DÍA EN EL MERCADO MAYORISTA DE PUELLES.....	88
FIGURA 24 RELACIÓN ENTRE PM_{10} , VIENTO Y TEMPERATURA	89
FIGURA 25 DISPERSIÓN ENTRE VELOCIDAD DEL VIENTO Y PM_{10}	90
FIGURA 26 DISPERSIÓN ENTRE TEMPERATURA Y PM_{10}	91
FIGURA 27 DISPERSIÓN ENTRE PUESTOS DE VENTA Y PM_{10}	91
FIGURA 28 DISPERSIÓN ENTRE VEHÍCULOS DE CARGA Y PM_{10}	92
FIGURA 29 DISPERSIÓN ENTRE EDIFICACIONES Y PM_{10}	92

RESUMEN

En mi presente investigación desarrollada, el objetivo fue evaluar los factores meteorológicos en la concentración de partículas menores a 10 micrómetros en el mercado mayorista de Puelles, Huánuco – 2025. Se empleó una metodología de carácter no experimental, con un enfoque descriptivo y un diseño de corte transversal, que incluyó la toma de muestras de PM₁₀ en cuatro estaciones estratégicas durante cuatro días consecutivos, Además, se llevó a cabo el registro de variables meteorológicas clave, como la velocidad del viento y la temperatura, junto con la medición de la intensidad de la actividad comercial y del flujo vehicular en el área de estudio. Los resultados revelaron que las concentraciones de PM₁₀ superaron de manera consistente y significativa el límite máximo permisible establecido por el D.S. N° 003-2017-MINAM, alcanzando valores máximos de hasta 556.78 µg/m³, evidenciando niveles críticos de contaminación. Además, se determinó que tanto los factores meteorológicos, especialmente una velocidad del viento promedio de 3.22 m/s de los cuatro días, con dirección predominante del este durante la mañana y del suroeste-oeste en horas de la tarde y noche, como la intensa actividad humana caracterizada por el elevado número de puestos de venta y vehículos de carga, contribuyen a la acumulación y variabilidad de las partículas en suspensión. En conclusión, este estudio evidencia de manera clara la urgencia de implementar estrategias integrales de monitoreo, control y gestión ambiental que permitan mitigar la contaminación por PM₁₀ en el Mercado Mayorista de Puelles, a fin de proteger la salud pública y mejorar la calidad de vida en la comunidad.

Palabras claves: PM10, Factores meteorológicos, Calidad del aire, Mercado mayorista, Contaminación ambiental.

ABSTRACT

In my present developed research, the objective was to evaluate the meteorological factors in the concentration of particles smaller than 10 micrometers in the wholesale market of Puelles, Huánuco - 2025. A non-experimental methodology was used, with a descriptive approach and a cross-sectional design, which included the taking of PM₁₀ samples at four strategic stations for four consecutive days. In addition, key meteorological variables such as wind speed and temperature were recorded, along with the measurement of the intensity of commercial activity and vehicular flow in the study area. The results revealed that PM₁₀ concentrations consistently and significantly exceeded the maximum permissible limit established by D.S. No. 003-2017-MINAM, reaching maximum values of up to 556.78 µg/m³, evidencing critical levels of pollution. Furthermore, it was determined that both meteorological factors, especially an average wind speed of 3.22 m/s over the four days, predominantly easterly in the morning and southwest-westerly in the afternoon and evening, and intense human activity characterized by a high number of retail stalls and freight vehicles, contribute to the accumulation and variability of suspended particles. In conclusion, this study clearly demonstrates the urgent need to implement comprehensive environmental monitoring, control, and management strategies to mitigate PM₁₀ pollution at the Puelles Wholesale Market, in order to protect public health and improve the community's quality of life.

Keywords: PM10, Meteorological factors, Air quality, Wholesale market, Environmental pollution.

INTRODUCCIÓN

La calidad del aire en áreas urbanas ha experimentado un deterioro progresivo debido al rápido incremento de las actividades humanas, en especial en sectores comerciales que concentran un alto flujo de personas y vehículos. Entre los contaminantes más significativos en este escenario se encuentran las partículas suspendidas con un tamaño de diez micrómetros o menor. Las presentes sustancias son capaces de expandirse al mecanismo pulmonar y causar graves dificultades en el bienestar, tanto de carácter agudo como crónico. La exposición prolongada a PM_{10} se ha vinculado con afecciones como asma, bronquitis crónica, infecciones respiratorias agudas, cáncer pulmonar y enfermedades cardiovasculares, afectando a niños y personas mayores. Estas partículas suele presentarse con frecuencia en zonas con elevado flujo vehicular, manipulación de productos, presencia de polvo resuspendido y una intensa dinámica comercial, del modo en que ocurre con el comercio de abastecimiento de Puelles, en la ciudad de Huánuco. (OMS, 2021)

La existencia de tales sustancias en la atmósfera no se debe exclusivamente a las fuentes emisoras, sino también a la influencia de variables atmosféricas que determinan su permanencia o dispersión. Factores como la temperatura del aire, la dirección y velocidad del viento, así como la precipitación, modifican sustancialmente la concentración de PM_{10} en determinadas horas del día y en espacios cerrados o semi cerrados. Estas condiciones meteorológicas, conocidas como elementos del clima, son cambiantes e interactúan entre sí, condicionando el comportamiento y la distribución de los contaminantes en el ambiente. (Barros, 2022)

Ante esta problemática, mi investigación titulada: Evaluación de los factores meteorológicos en la concentración de partículas menores a 10 micrómetros en el mercado mayorista de Puelles, Huánuco – 2025 busca analizar la influencia de parámetros meteorológicos sobre los niveles de PM_{10} . Se evaluarán variables como temperatura, precipitaciones y características del viento, comparándolas con los promedios de concentración de material particulado registrados en distintos horarios y considerando la intensidad de las actividades comerciales y logísticas presentes en la zona de estudio.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La existencia de partículas con un diámetro menor a 10 micrómetros (PM10) representa una problemática ambiental de gran relevancia a nivel mundial, cuya concentración está condicionada por múltiples variables, entre ellas los factores meteorológicos. En zonas urbanas con intensa actividad comercial, estas partículas se generan, principalmente, por el tránsito vehicular, procesos industriales, combustión de combustibles fósiles, actividades agrícolas y una inadecuada gestión de residuos. Por su pequeño tamaño, las PM10 tienen la capacidad de ingresar al sistema respiratorio, afectando la salud humana y provocando enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Se estima que cerca de ocho millones de fallecidos son atribuidas a la polución del aire anuales en todo el mundo, superando incluso las cifras asociadas al tabaquismo. (Strong, 2021) Las principales fuentes del problema se encuentran en las emisiones generadas por el transporte vehicular y las actividades industriales, afectando de forma considerable a ciudades localizadas en China, India, el sudeste asiático y regiones del continente africano. En centros urbanos densamente poblados, millones de personas se encuentran expuestas diariamente a este tipo de contaminación. Los mercados, en particular, debido al constante flujo de personas y al dinamismo comercial, se convierten en espacios con alta propensión a la acumulación de partículas PM10. En varios países de Asia, África y América Latina, tanto los mercados mayoristas como las áreas comerciales con alto tráfico vehicular registran niveles elevados de estas partículas, a menudo por encima de los niveles recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS). La exposición continua a altos niveles de PM10 puede tener consecuencias perjudiciales para la salud pública, afectando principalmente a trabajadores, comerciantes y clientes que permanecen por largos periodos en estos espacios. Por ello, la medición de los niveles de PM10 en estos entornos resulta esencial para establecer estrategias de control y políticas que

reduzcan los riesgos sanitarios y promuevan una mejor calidad del aire en áreas críticas. (Yépez, 2019)

En el contexto peruano, la presencia de partículas suspendidas menores a 10 micrómetros representa una problemática relevante tanto en términos ambientales como de salud pública, especialmente en áreas urbanas caracterizadas por una alta densidad vehicular y una intensa actividad comercial. En Lima Metropolitana, un análisis desarrollado por el Consorcio de Investigación Económica y Social (CIES) reveló que, entre los años 2007 y 2011, se produjeron alrededor de 5,108 fallecimientos atribuibles a la exposición a PM10, siendo aproximadamente el 80 % de estos casos vinculados directamente al uso del transporte público. Asimismo, el mismo organismo estimó que entre 1994 y 2011, la capital del país registró cerca de 17,000 muertes asociadas a esta forma de contaminación. A nivel nacional, datos del año 2023 señalan que Perú enfrenta una tasa de 176 muertes prematuras por cada millón de habitantes debido a la contaminación del aire, específicamente por partículas finas como las PM2.5. Aunque esta última cifra corresponde a un contaminante más pequeño, refleja una alarmante situación respecto a la calidad del aire y su impacto en la salud de la población. (Bustamante, 2021) Las partículas en suspensión, originadas por actividades como el transporte motorizado, la quema de combustibles fósiles y la gestión deficiente de residuos sólidos, deterioran la calidad del aire y, en muchos casos, exceden los límites establecidos por la normativa nacional sobre estándares ambientales. Los mercados, debido a su alta afluencia de personas y dinamismo comercial, representan zonas de alta vulnerabilidad frente a la exposición de PM10. Elementos como el tránsito vehicular constante, el empleo de combustibles sólidos para la preparación de alimentos, y la carencia de sistemas adecuados de ventilación, intensifican la concentración de estas partículas en el ambiente. Estudios realizados en ciudades como Lima, Arequipa y Trujillo han confirmado que los niveles de PM10 en estos entornos sobrepasan con frecuencia los valores normativos, afectando en mayor medida a quienes trabajan, comercian o realizan compras en dichos espacios. (Fred, 2021)

En Huánuco, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), ha implementado estaciones especializadas para el monitoreo de la calidad del aire, a través de las cuales se registran diversos contaminantes atmosféricos como el O₃, CO, NO₂, SO₂, PM2.5 y PM10. En una investigación realizada en el año 2020, se llevó a cabo una evaluación de las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) en la intersección de los jirones Dos de Mayo y Libertad, dentro del área urbana de Huánuco. Los resultados obtenidos evidenciaron niveles de CO₂ que variaban entre 374 y 392 mg/m³, los cuales estaban determinados principalmente por la intensidad del tráfico vehicular y por las condiciones meteorológicas presentes en ese periodo. (Retiz, 2021). El Mercado Mayorista de Puelles, debido a su intensa actividad comercial, el constante tránsito vehicular y la limitada infraestructura destinada al control de emisiones, constituye un punto crítico con alta probabilidad de exposición a partículas PM10, superando con frecuencia los niveles establecidos por normativas ambientales tanto nacionales como internacionales. La ausencia de estrategias efectivas para reducir la contaminación atmosférica intensifica esta problemática, lo que resalta la necesidad de realizar una evaluación precisa de las concentraciones de PM10 en dicho entorno. Contar con esta información permitirá sustentar la elaboración de políticas públicas destinadas a mejorar la calidad del aire y proteger la salud de las personas que diariamente interactúan en este mercado. (Contreras O. C., 2023)

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 PROBLEMA GENERAL

¿Cómo influyen los factores meteorológicos en la concentración de partículas menores a 10 micrómetros en el mercado mayorista de Puelles, Huánuco – 2025?

1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

1. ¿Cuáles son los niveles de concentración de partículas menores de 10 micrómetros en relación a los factores meteorológicos en el Mercado Mayorista de Puelles, 2025?
2. ¿Qué factores meteorológicos contribuyen a la variabilidad de la concentración de PM10, como el tráfico vehicular, la actividad

comercial y las condiciones meteorológicas en el Mercado Mayorista de Puelles, 2025?

3. ¿Quiénes son los potenciales afectados debido a los niveles de concentración de PM10 encontrados en el Mercado Mayorista de Puelles, 2025?

1.3 OBJETIVO GENERAL

Evaluar los factores meteorológicos en la concentración de partículas menores a 10 micrómetros en el mercado mayorista de Puelles, Huánuco – 2025.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar los niveles de concentración de partículas menores de 10 micrómetros (PM10) en distintas áreas a lo largo del día y en diferentes condiciones climáticas en el Mercado Mayorista de Puelles, 2025.
2. Identificar los factores meteorológicos que contribuyen a la variabilidad de la concentración de PM10, como el tráfico vehicular, la actividad comercial y las condiciones meteorológicas en el Mercado Mayorista de Puelles, 2025.
3. Identificar los potenciales afectados debido a los niveles de concentración de PM10 encontrados en el Mercado Mayorista de Puelles, 2025.

1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Mi investigación se basó en un análisis teórico sobre la concentración de partículas con diámetro inferior a 10 micrómetros (PM10) en el Mercado Mayorista de Puelles, en la ciudad de Huánuco, considerando los riesgos que dichas partículas implican para la salud humana. Las PM10 estaban asociadas con afecciones respiratorias y cardiovasculares, particularmente en zonas caracterizadas por una intensa actividad comercial y elevado tránsito vehicular. La investigación resultó pertinente para identificar los niveles de contaminación atmosférica en un entorno con alta exposición, lo cual permitió proponer estrategias orientadas a reducir los impactos en la salud de los comerciantes, trabajadores y usuarios del mercado.

JUSTIFICACIÓN LEGAL

Mi tesis incluyó una fundamentación legal vinculada al análisis de la concentración de (PM10) en el Mercado Mayorista de Puelles, basada en las leyes ambientales que están en vigor en Perú. La Ley General del Ambiente (Ley N° 28611) fue utilizada como punto de partida. Esta ley impulsaba la protección del medio ambiente mediante el cuidado, la sensibilización ambiental y la participación activa de los ciudadanos, así como también regulaba y controlaba las consecuencias perjudiciales que las actividades humanas generaban. (MINAM, 2005)

Asimismo, se consideró el Reglamento de Calidad del Aire (DS N° 014-2017-MINAM), que definía los límites máximos permitidos para varios contaminantes, incluyendo las PM10. La evaluación de estos parámetros fue crucial para asegurar que la población tenga derecho a vivir en un entorno sano y para ayudar a diseñar políticas públicas orientadas a proteger la salud y el bienestar de la comunidad.

JUSTIFICACIÓN SOCIAL

Esta investigación tuvo una justificación social fundamentada en el análisis de la concentración de (PM10) en el Mercado Mayorista de Puelles, ubicado en Huánuco. Esto se debió a la importancia que tenía dicho problema para el bienestar de los clientes, trabajadores y comerciantes del mercado. La exposición continua a altos niveles de PM10 tenía el potencial de causar problemas cardiovasculares y respiratorios, afectando particularmente a los grupos poblacionales más vulnerables. El propósito de la investigación fue concientizar acerca de las consecuencias de la contaminación atmosférica, fomentar la creación de políticas públicas para mejorar el medio ambiente y respaldar la defensa de la salud pública en el vecindario local.

JUSTIFICACIÓN INVESTIGATIVA

El análisis de la concentración de partículas menores a 10 micrómetros en el Mercado Mayorista de Puelles, Huánuco, fue esencial por la falta de investigaciones concretas sobre el asunto en la zona. A pesar de que la inquietud acerca de la polución del aire ha crecido, existían pocos estudios

que habían estudiado los niveles de PM10 en mercados mayoristas de ciudades intermedias, como Huánuco. Este trabajo ayudó a llenar ese vacío de conocimiento, proporcionando información importante para la toma de decisiones y la formulación de políticas ambientales dirigidas a proteger la salud pública.

1.6 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio presentó algunas limitaciones, entre las que se incluyó el acceso limitado a equipos especializados para medir partículas menores a 10 micrómetros, junto con las condiciones meteorológicas cambiantes que pudieron haber influido en los resultados obtenidos. También hubo restricciones en la representatividad temporal debido al período de estudio, además de dificultades logísticas en el Mercado Mayorista de Puelles, debido a la gran afluencia de personas. Asimismo, la falta de datos históricos sobre la contaminación ambiental en el área complicó la realización de comparaciones y análisis a lo largo del tiempo.

1.7 VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

La relevancia del problema fue la base de la viabilidad de la investigación, dado que la cantidad de partículas por debajo de 10 micrómetros tenía un impacto significativo en la salud pública, sobre todo en zonas urbanas como el Mercado Mayorista de Puelles. La disponibilidad de equipos portátiles para medir partículas en entidades académicas y gubernamentales permitió el acceso a tecnologías para monitorear el medio ambiente. Además, el ambiente urbano del mercado proporcionaba un marco apropiado para examinar las fuentes de emisión, como el tráfico de vehículos, las actividades comerciales y la presencia de polvo en suspensión. El trabajo en equipo con organizaciones locales dedicadas a reducir los problemas ambientales y sanitarios ayudó a que la logística y la financiación del estudio fueran más sencillas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

1.8 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

1.8.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

García (2021) Colombia. En su investigación titulada: “Influencia de factores meteorológicos sobre la incidencia de los incendios forestales y el transporte de las emisiones hacia las ciudades andinas” El **propósito** de este estudio fue analizar cómo las variables geográficas y meteorológicas afectan la ocurrencia de incendios en los bosques, además de examinar su posible impacto en la calidad del aire en Bogotá. Un comportamiento bimodal en la frecuencia de estos sucesos fue detectado durante el periodo que va desde enero de 2010 hasta noviembre de 2020, tiempo durante el cual se llevó a cabo el análisis. Se utilizó la **metodología** de reunir datos que fueran fiables y respaldados por fundamentos académicos, los cuales incluían información acerca de la calidad del aire en Bogotá, registros de incendios forestales obtenidos a través del satélite MODIS y datos de precipitación acumulada proporcionados por GES DISC. Además, se empleó el modelo híbrido de trayectorias integradas de partículas La grangiana (HYSPLIT) para rastrear las rutas del aire que llegaba a la ciudad. A través de análisis de tendencias y estadísticos, se determinaron las fuentes contaminantes, quedando en evidencia una relación directa entre el número de incendios y las concentraciones de PM₁₀ y PM_{2.5} observadas. Asimismo, se halló una gran posibilidad de que los patrones de quema de biomasa estén relacionados con condiciones geográficas y meteorológicas propicias para esos sucesos. Respecto a las trayectorias aéreas y los datos, se pudo establecer el origen de las emisiones y de las partículas. Por eso, se sugirió realizar estudios más exhaustivos que posibiliten validar estos descubrimientos y elaborar estrategias de gestión para optimizar la calidad del aire, lo cual beneficiaría a las personas y al medio ambiente. Se llegó a la **conclusión** de que los incendios forestales tienen un impacto significativo en los procesos ecológicos, ya que alteran las estructuras

del paisaje y generan consecuencias negativas para el medio ambiente.

Andrade (2020) Ecuador. En su investigación titulada: “Análisis espacial de PM10 en el aire y su composición de metales con relación a factores ambientales alrededor de centros de educación preescolar en Cuenca”, El **proposito** de este estudio fue examinar la relación entre las concentraciones de metales pesados en el aire de instituciones educativas preescolares y los factores meteorológicos que se registraron durante el monitoreo, como la humedad relativa, la temperatura, las precipitaciones y también la radiación solar difusa y global. En el contexto del proyecto CEDIA-CEPRA, se usó una **metodología** de diseño transversal en un estudio exploratorio. Este empleó información acerca de metales pesados (como zinc, cobre, plomo y cadmio) y material particulado (PM10) presentes en el aire de los centros educativos preescolares. Se observó una fuerte variabilidad en las concentraciones de contaminantes y una débil relación entre estos y los factores meteorológicos. Los niveles de PM10 han superado en varias ocasiones los límites impuestos por la normativa nacional y por la Organización Mundial de la Salud. El análisis determinó que existe una considerable variabilidad en la exposición a estos contaminantes en el aire de las instituciones educativas preescolares de Cuenca, reportando concentraciones de PM10 que excedieron los valores máximos fijados por la Organización Mundial de la Salud ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y por la regulación ambiental ecuatoriana (TULSMA) ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Caraballo (2022) Colombia. En su investigación titulada: “Evaluación de la calidad del aire por material particulado PM10 en una zona del barrio ciudad salitre en la localidad de Fontibón (upz110)”. La meta fue evaluar las concentraciones de material particulado PM10 en el barrio Ciudad Salitre, que se encuentra en la localidad de Fontibón (UPZ110). La investigación, con una perspectiva cuantitativa, tuvo como objetivo analizar los niveles de PM10 en esta zona y compararlos con la normativa vigente, en particular la Resolución 2254 del año 2017.

Se llevó a cabo un seguimiento de la calidad del aire durante 27 días con el objetivo de analizar la conexión entre la calidad del aire y la aparición de enfermedades cardiovasculares y respiratorias en el área. Los hallazgos hicieron posible determinar potenciales fuentes emisoras de PM10 cercanas al lugar de la muestra, y sobre esa base se propusieron diferentes medidas preventivas con el propósito de reducir los riesgos asociados.

Díaz & Páez (2021) Ecuador. En su investigación titulada: “Contaminación por material particulado PM10 en Quito y caracterización química de las muestras”. El **propósito** fue analizar la polución por material particulado PM10 en Quito y llevar a cabo un examen químico exhaustivo de las muestras obtenidas. A través de los datos de monitoreo ambiental recogidos en el transcurso de los dos años pasados, se determinó que el material particulado es uno de los contaminantes que sobrepasa con regularidad los límites definidos por la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire. El informe presenta la capacidad de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito para cuantificar este contaminante, detallando los criterios empleados para establecer un sistema que combina varias técnicas, como analizadores automáticos de PM2.5 a través de atenuación de rayos beta, muestreadores caseros para polvo sedimentable y muestreadores de alto volumen para partículas totales suspendidas (PTS) y PM10. Además, se llevó a cabo la caracterización química de las muestras de PM10 para establecer si había iones, polvo mineral y carbono total. Esto permitió descubrir fuentes emisoras potenciales y adquirir información más exacta para diseñar estrategias de control eficaces. Se destaca, además de los elementos técnicos y científicos, el esfuerzo importante de identificar las habilidades presentes en diversas instituciones y asegurar su implicación en este proyecto.

Díez & Fonseca (2019) España. En su investigación titulada: “Dispersión de PM10 generado por el tráfico vehicular en ciudad Universitaria, Córdoba Capital”. El **propósito** de esta investigación fue examinar la dispersión del material particulado PM10 producido por el

tránsito vehicular en la Ciudad Universitaria, ubicada en Córdoba Capital. Según la investigación, el área metropolitana de Gran Córdoba tiene una población de alrededor de 1.6 millones de habitantes y posee un parque automotor que se aproxima a las 700,000 vehículos. Estas vehículos son los responsables de la emisión de contaminantes como dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (COVs), óxidos de nitrógeno (NO_x), material particulado y dióxido de azufre (SO₂), entre otros. El análisis se centró en modelar la dispersión de PM₁₀ en el campus universitario (CU), un área con mucha población donde diariamente laboran o estudian más de 120,000 individuos. Asimismo, se observa un tráfico de vehículos que supera los 100,000 diarios, lo que produce una significativa exposición a contaminantes provenientes del tráfico. Se utilizó el software CAL3QHCR para modelar, empleando factores de emisión del Gran Buenos Aires porque no había datos específicos para Córdoba. Se cuantificó la actividad vehicular en las horas pico para hacer una estimación conservadora, describiendo las vías cercanas a CU y utilizando información sobre el clima recopilada en el lugar. Además, se usaron dos muestreadores de bajo caudal para medir el material particulado durante un mes. Los hallazgos mostraron que en las zonas con más exposición, las concentraciones sobrepasaron los niveles de referencia sugeridos por la Organización Mundial de la Salud.

1.8.2 ANTECEDENTES NACIONALES

Baldeón (2021) Huancayo. En su investigación titulada: “Factores meteorológicos y su relación con la calidad del aire producido por PM 10 generado en la fabricación de ladrillo artesanal en Cullpa Baja, 2021”. El propósito de este estudio fue establecer el vínculo entre elementos meteorológicos, como la temperatura, la velocidad del viento y la humedad relativa, y la calidad del aire, que se definió a partir de la concentración de material particulado PM₁₀, durante el proceso artesanal de fabricación de ladrillos en la Comunidad Campesina de Cullpa Baja, en abril del año 2017. Se empleó un análisis observacional para llevar a cabo la investigación, que utilizó una perspectiva

descriptiva, de diseño transversal y exploratorio. Utilizando un muestreador de alto volumen, se recolectaron cuatro muestras de material particulado y se utilizaron listas de cotejo para confirmar la observación. Los hallazgos señalaron que la concentración media de PM10 fue de $199,4425 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que excedió los umbrales fijados por el Estándar de Calidad Ambiental. El coeficiente de correlación y el valor de significancia entre la calidad del aire y la temperatura, medidos con el coeficiente de Spearman, fueron 0.4 y 0.6 respectivamente. Respecto a la velocidad del viento, el estudio con el coeficiente de Pearson mostró una correlación negativa de -0.527 y una significancia de 0.473. Finalmente, se estudió la relación entre la calidad del aire y la humedad relativa, también mediante Pearson. Esta relación mostró un coeficiente de correlación de 0.806 y una significancia de 0.194. Para concluir, se consideró que la calidad del aire en la comunidad rural de Cullpa Baja era mala debido a las emisiones de PM10 generadas durante el proceso de fabricación de ladrillos. Además, no se encontró una conexión directa entre la calidad del aire relacionada con el PM10 y los factores meteorológicos: temperatura, velocidad del viento y humedad.

Contreras (2023) Puno. En su investigación titulada: “Evaluación de la calidad del aire respecto al parámetro material particulado menores a 10 micrómetros en el contexto de la COVID-19 en la ciudad de Puno”. Este estudio tuvo como propósito comparar la calidad del aire en Puno, Perú, antes y durante la pandemia de COVID-19, con un enfoque específico en los niveles del material particulado PM10. Se empleó un diseño metodológico correlacional causal que no fue experimental. Para la recolección de datos, se utilizaron tres procedimientos: primero, se recopilaron datos secundarios de investigaciones anteriores a la pandemia; segundo, se hicieron dos muestreos de material particulado durante la pandemia utilizando un equipo Hi-Vol de Thermo; y tercero, se llevó a cabo una comparación estadística usando el test t de Student. Los resultados señalaron que, antes de la pandemia, las concentraciones de PM10 en tres muestras

fueron 50.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 87.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 49.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente; todos estos valores estaban por debajo de los límites establecidos por el Estándar de Calidad Ambiental del Aire (ECA-Aire, D.S.-003-2017-MINAM). Dentro de los niveles permitidos por el ECA-Aire, las concentraciones observadas durante la pandemia fueron 10.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 28.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 35.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Se notó que la media de PM10 fue mayor antes de la pandemia que durante ella, al contrastar ambos períodos.

Barzola (2020) Cerro de Pasco. En su investigación titulada: “Análisis de las concentraciones del PM10 en su interacción con los factores meteorológicos en el distrito de Ate – provincia de Lima, durante los años 2014 al 2018.” El deterioro de la calidad del aire en áreas urbanas es un problema mundial que se ha incrementado con el crecimiento demográfico. El material particulado en suspensión sobresale entre los contaminantes más relevantes de las ciudades debido a sus posibles efectos sobre la salud humana. En este contexto, el **propósito** de la investigación fue examinar las concentraciones de PM10 y su vínculo con elementos meteorológicos en el distrito de Ate, ubicado en la provincia de Lima, entre los años 2014 y 2018. Se empleó un método de análisis-síntesis, dividiendo las diferentes partes del estudio para determinar las conexiones causales y organizar conclusiones precisas. Según los resultados, la estación de Ate experimentó cambios notables en las concentraciones de PM10 a lo largo del tiempo, con picos anuales significativos: 2322.031 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el 14 de julio de 2014; 378 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el 21 de marzo de 2015; 276.71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el primero de enero de 2016; 235.99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el día trece del mes cuatro en el año dos mil diecisiete; y finalmente, en dos mil dieciocho, se reportaron 256.83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en abril uno. La conclusión principal indica que las concentraciones de PM10 en Ate son fluctuantes e influidas por la interacción con elementos meteorológicos a lo largo del periodo analizado. Aun así, se **concluyó** que los estándares permitidos para PM10 no se cumplen al equiparar los valores con los límites establecidos en el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire (D.S. N° 003-2017-MINAM).

Díaz & Pérez (2022) Lima. En su investigación titulada: “Evaluación de la influencia del tránsito vehicular y las variables meteorológicas en la concentración del pm10 y pm1.0 en el distrito de comas”. El **propósito** de este estudio fue analizar cómo el tránsito vehicular y las variables meteorológicas influyen en las concentraciones de PM10 y PM1.0. La investigación evaluó las variaciones temporales y la relación entre el material particulado (PM10 y PM1.0), factores meteorológicos como la temperatura del aire y la radiación solar, y el flujo vehicular en la zona norte de Lima. Los datos, proporcionados por la Municipalidad Metropolitana de Lima, fueron recolectados durante 2017 mediante un muestreador continuo de partículas Thermo Scientific y un contador de tráfico K4 de cuarta generación. Los resultados mostraron que las concentraciones promedio de PM10 ($35.83 \pm 7.89 \mu\text{g}/\text{m}^3$) cumplen con la normativa nacional (ECA Aire), aunque superan los niveles recomendados por la Organización Mundial de la Salud. Por otro lado, las concentraciones de PM1.0 promediaron $16.94 \pm 3.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a pesar de que no existe un reglamento específico para esta fracción. Se encontró una correlación moderada entre PM1.0 y el flujo de vehículos; por otro lado, la relación entre PM10 y el tráfico fue baja. Además, durante el verano, las concentraciones de PM1.0 y PM10 demostraron una correlación moderada con las variables meteorológicas en invierno y baja en verano, a excepción de la temperatura del aire, que mantuvo una correlación baja con PM1.0. Con una correlación estadísticamente significativa, la relación media entre PM1.0 y PM10 fue de 0.48.

Villanueva (2022) Cerro de Pasco. En su investigación titulada: “Dispersión del material particulado (PM10 Y PM2, 5), con interrelación a los factores meteorológicos en el centro poblado de Champamarca, distrito de Simón Bolívar, Provincia de Pasco – 2018”. La dispersión de las partículas (PM10 y PM2.5) en el centro poblado de Champamarca, situado en la provincia de Pasco, distrito Simón Bolívar, a lo largo del 2018 fue el objetivo principal de este estudio. Se utilizó una metodología cuantitativa y deductiva, lo cual posibilitó que los hallazgos

se generalizaran a toda la población y que se formularan hipótesis para respaldar las conclusiones. El valor de -0.006 reveló una correlación negativa entre las variables que no era significativa; sin embargo, se observó una correlación positiva y fuerte con la velocidad del viento y la humedad relativa. Se sugirió, basándose en estos resultados, utilizar el método de análisis denominado rosas de viento para seguir parámetros meteorológicos como la temperatura, la humedad y, sobre todo, la dirección y velocidad del viento. En resumen, se concluyó que la velocidad del viento tiene un impacto directo en la concentración de material particulado; a modo de ejemplo, con una velocidad media anual de 0.9 m/s, se calculó una concentración de PM10 de 22.76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lo cual concuerda con investigaciones anteriores como la realizada por Arrieta Fuentes, que también hallaron una correlación proporcional entre la dispersión del material particulado y los factores meteorológicos.

1.8.3 ANTECEDENTES LOCALES

Elder (2022) Huánuco. En su investigación titulada: “Impacto de las partículas PM10 y parámetros meteorológicos en la calidad del aire y salud en la Villa de Cayhuayna, Huánuco”. El objetivo de este estudio fue evaluar el impacto de las partículas PM10 y los parámetros meteorológicos en la calidad del aire y la salud pública en la Villa de Cayhuayna, capital del distrito de Pillco Marca, en la provincia y departamento de Huánuco, Perú. Dado que en esta zona no existían datos previos sobre las concentraciones de PM10, se utilizó información del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), junto con mediciones directas de PM10. Asimismo, se recolectaron datos acerca de las consultas mensuales por infecciones respiratorias agudas (IRAs) en el Centro de Salud de Potracancha. Los datos meteorológicos han hecho posible reconocer las velocidades y los sentidos del viento que predominaron a lo largo de los últimos cinco años. Se analizó la correlación entre la calidad del aire y la velocidad del viento a la 1:00 p.m. usando los valores de PM10 y las velocidades del viento. De igual manera, se estudió el impacto

sobre la salud de las concentraciones mensuales más altas de PM10 y de la velocidad del viento, correlacionando estos datos con los registros de consultas mensuales por IRAs. Se utilizó la prueba t de Student y el coeficiente de correlación de Spearman para realizar el análisis estadístico. Los hallazgos mostraron que: a) la calidad del aire se ve impactada de manera significativa por la velocidad del viento; b) tanto las partículas PM10 como la velocidad del viento tienen un efecto en la salud, lo que lleva a la conclusión de que estos factores influyen en el bienestar de los habitantes de Villa de Cayhuayna y en la calidad del aire.

Díaz (2022) Huánuco. En su investigación titulada: “Concentración de PM 10 y PM 2.5 y los problemas respiratorios en los pobladores durante la construcción de la carretera Huánuco-La Unión, Huánuco 2021”. El **propósito** de este estudio fue analizar la asociación entre las concentraciones de material particulado PM10 y PM2.5 y el número de casos con problemas respiratorios en los habitantes durante la construcción de la carretera Huánuco-La Unión en 2021. La investigación, que incluyó 206 personas, fue de tipo analítico, observacional y transversal con un enfoque correlacional. Una ficha destinada a la recopilación de información acerca de enfermedades respiratorias y el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad del Aire (DS 010-2019 MINAM) fueron utilizados como instrumentos. Según los resultados, la mayor parte de los participantes eran mayores de 60 años. El centro poblado de Chasqui sobresalió al albergar el 31% del total de la muestra. En lo que respecta a las concentraciones de PM10, los segmentos de Ayapiteg, Chasqui, Mamayhuachin, Mitocucho y Chavinillo mostraron cifras superiores a los límites máximos permitidos (LMP) en octubre ($105.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y agosto ($249 \mu\text{g}/\text{m}^3$). En agosto, el valor de PM2.5 fue de $83 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que representa una concentración por encima del LMP. En lo que concierne a los problemas respiratorios, el 32.2% de los pacientes tenía 60 años o más, siendo la bronquitis y la faringitis las enfermedades más comunes, sobre todo en Chasqui. Se observó un número más elevado de casos

durante los dos primeros trimestres de la construcción. No obstante, se determinó que no hay una conexión directa entre las concentraciones de PM10 y PM2.5, generadas por la construcción de la carretera, y los trastornos respiratorios en las áreas analizadas.

Tello (2021) Huánuco. En su investigación titulada: “Material Particulado PM10, PM2.5 en la ejecución del proyecto: Mejoramiento, Conservación por Niveles de Servicio y Operación en el tramo Quisqui - Jacas Chico del departamento de Huánuco”. de esta investigación fue averiguar si las concentraciones de material particulado PM10 y PM2.5 durante la realización del proyecto de mejoramiento, conservación por niveles de servicio y funcionamiento en el segmento Quisqui-Jacas Chico, en el Departamento de Huánuco, exceden los estándares de calidad medioambiental. Para calcular las concentraciones de PM10 y PM2.5, se utilizó una técnica correlacional que se fundamenta en un análisis volumétrico de gran flujo. Se compararon los datos obtenidos con los valores de referencia establecidos en la investigación del impacto ambiental. Se establecieron 14 estaciones para el monitoreo, las cuales se utilizaron como puntos de muestreo para los dos tipos de material particulado. Los resultados mostraron que la mayor parte de las estaciones no sobrepasó los valores de referencia para PM10, resaltando los segmentos CA-06, CA-39 y CA-41 con diferencias negativas de -4.53, -14.22 y -5.62 en ese orden. Sin embargo, en los segmentos CA-31 y CA-38, las concentraciones sobrepasaron los valores de referencia con variaciones de 32.32 y 48.74 respectivamente. Los tramos CA-23 y CA-44, en lo que respecta al PM2.5, se mantuvieron por debajo de los valores base, con diferencias de -6.88 y -3.06; en contraste, los tramos CA-31 y CA-38 presentaron diferencias positivas de 20.96 y 13.38. Para concluir, se estableció que, durante su ejecución, el proyecto de mejora, conservación por niveles de servicio y operación no sobrepasa los estándares de calidad ambiental.

Vigilio (2022) Huánuco. En su investigación titulada: “Determinación del grado de contaminación del área afectada por el

pasivo ambiental minero Quisqui, Huánuco 2020". El propósito de este estudio fue medir el nivel de contaminación en el área afectada por el Pasivo Ambiental Minero Quisqui, localizado en la provincia de Huánuco y dentro del distrito de Quisqui (Kichki), durante 2020. Se utilizó un enfoque cuantitativo como metodología, la cual abarcó tanto experimentos de laboratorio como análisis estadísticos de los datos recabados. Los resultados de la evaluación de la calidad del agua se confrontaron con la normativa D.S.004-2017-MINAM, en su categoría 4 (Conservación del medio ambiente acuático) y subcategoría E2 (Ríos-Costa y Sierra). Se estudiaron las concentraciones de PM10 y otros parámetros meteorológicos, para compararlas con el D.S.003-2017-MINAM, que determina los estándares de calidad ambiental del aire, en términos de la calidad del aire. La calidad del suelo fue analizada de acuerdo con la normativa D.S.011-2017-MINAM, que es pertinente a la categoría extractiva/comercial/industrial. En relación con áreas de protección especial, se tomaron en cuenta las regulaciones del D.S.085-2003-PCM para el ruido. El diseño fue observacional y descriptivo, y las muestras fueron procesadas en laboratorios acreditados por INACAL, junto con el Grupo Urban Dream y Arquitectura Sostenible S.A.C. El área de estudio incluyó una zona directa de 1.65 hectáreas y una indirecta de 110.95 hectáreas, que incluía la microcuenca hidrográfica Mamayhuachin adyacente al pasivo. Se realizaron visitas a varias áreas del pasivo durante la fase de campo, empleando las vías de acceso más importantes para obtener información pormenorizada acerca de la contaminación. Las coordenadas geográficas se tomaron con GPS y se obtuvieron muestras de agua, aire, suelo y ruido para ser analizadas en una etapa posterior. Los hallazgos mostraron que, a excepción del parámetro de arsénico en el suelo, las concentraciones de aire, agua, ruido y suelo no sobrepasaron los Estándares de Calidad Ambiental actuales. Se observó que las concentraciones de arsénico en el suelo sobrepasaron los límites permitidos en los puntos PS-01 y PS-02. Para concluir, el arsénico presente en el suelo de la zona analizada excede los límites ambientales establecidos.

Aguirre (2021) Huánuco. En su investigación titulada: “Contaminación del aire por partículas sedimentables en domicilios en la zona urbana de la Provincia de Leoncio Prado, Departamento de Huánuco”. El objetivo de este estudio fue analizar la contaminación del aire causada por partículas sedimentables en casas ubicadas en el área urbana de la provincia de Leoncio Prado, que pertenece al departamento de Huánuco. Con una muestra de 12 áreas de monitoreo, el estudio se basó en un diseño descriptivo y transversal. Los protocolos que se establecieron en el Boletín Oficial del Estado de 1976 se utilizaron para la recolección de muestras y el cálculo de la concentración de partículas sedimentables. En las áreas monitoreadas, los resultados indicaron las concentraciones de partículas sedimentables: 0.372 mg/cm²/mes en la Avenida Amazonas y 0.384 mg/cm²/mes en Jr. Julio Burga; 0.430 mg/cm²/mes en Av. Raymondi; 0.478 mg/cm²/mes en Naranjillo Centro; 0.633 mg/cm²/mes en Electrocentro; 0.705 mg/cm²/mes en Naranjillo Entrada; 0.722 mg/cm²/mes en Afilador; 0.955 mg/cm²/mes en Av. Raymondi; 0.966 mg/cm²/mes en Brisas del Huallaga; 0.989 mg/cm²/mes en Castillo Grande Entrada; 1.018 mg/cm²/mes en Supte San Jorge y, finalmente, con la mayor concentración: de 1.148 mg/cm² al mes, en Castillo Grande Centro. Para concluir, se estableció que en 8 de las 12 zonas monitoreadas, la cantidad de partículas sedimentables sobrepasó el Límite Máximo Permitido (LMP) de 0.5 mg/cm²/mes fijado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), lo cual demuestra altos grados de contaminación por este tipo de partículas en esas áreas.

1.9 BASES TEÓRICAS

1.9.1 NORMATIVA

Tabla 1

Normativa sobre Calidad y Gestión del Aire en el Perú

Nivel	Norma / Instrumento	Descripción
Nacional	Ley General del Ambiente (Ley N° 28611)	Establece el marco legal para la gestión ambiental, incluyendo la calidad del aire.

	Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire (D.S. N° 003-2017-MINAM)	Establece los niveles máximos permitidos de contaminantes en el aire para salvaguardar la salud y el entorno ambiental.
	Límites Máximos Permisibles (LMP) de emisiones para fuentes fijas (D.S. N° 010-2017-MINAM)	Regula las emisiones contaminantes de industrias y otras fuentes fijas.
	Plan Nacional de Gestión de la Calidad del Aire (D.S. N° 017-2021-MINAM)	Estrategia a nivel nacional para disminuir la polución atmosférica y salvaguardar la salud de la población.
	Reglamento de Gestión de la Calidad del Aire (D.S. N° 074-2001-PCM)	Define acciones para la regulación de la polución atmosférica y establece obligaciones de los sectores implicados.
Sectorial	Normas de Emisión para Vehículos Motorizados (D.S. N° 010-2017-MINAM y D.S. N° 007-2019-MINAM)	Regula los límites de emisiones contaminantes de vehículos nuevos e importados.
	Ordenanzas Municipales de Huánuco sobre calidad del aire	Normativas concretas del gobierno local para disminuir la polución en la ciudad.
Local	Planes de Acción para la Mejora de la Calidad del Aire en Huánuco	Tácticas implementadas por el municipio para regular las fuentes de polución atmosférica.

Nota. Normas Nacionales, Sectoriales y Locales sobre Calidad del Aire

1.9.2 Marco Institucional sobre la Calidad del Aire en Perú

Tabla 2

Marco Institucional sobre la Calidad del Aire en Perú

Entidad	Función	Rol en la Calidad del Aire
Congreso de la República	Crea y ratifica normativas medioambientales.	Aprueba leyes generales sobre calidad del aire.
Ministerio del Ambiente (MINAM)	Elabora y define políticas ecológicas a nivel nacional.	Establece las Normas de Calidad Ambiental (ECA) para el aire y las políticas de regulación de las emisiones.
Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)	Evalúa la calidad del aire en diversas áreas.	Opera estaciones de vigilancia y comunica grados de contaminación atmosférica.
Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA)	Inspecciona y verifica el acatamiento de las regulaciones medioambientales.	Inspecciona compañías y acciones que perjudican la calidad del aire.

Ministerio de Energía y Minas (MINEM)	Controla las actividades de minería y energía.	Regula las emisiones en la minería y las industrias de extracción.
Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC)	Controla el transporte por tierra y las emisiones de vehículos.	Implementa regulaciones para disminuir la contaminación provocada por automóviles.
Ministerio de Salud (MINSA)	Analiza los efectos de la polución en la salud.	Comunica acerca de los peligros para la calidad del aire y la salud pública. Se desempeña como un organismo líder en la administración de la calidad del aire, colaborando con municipalidades, gobiernos regionales y entidades especializadas para la puesta en marcha de políticas de prevención y regulación de la polución atmosférica.
Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA)	Salvaguardar la salud pública a través de la normativa, supervisión y control de la calidad del aire.	
Gobiernos Regionales y Locales	Ponen en marcha políticas medioambientales en sus respectivas jurisdicciones.	Implementan programas de administración de calidad del aire en las ciudades y vigilan las fuentes locales de polución.
Municipalidades Provinciales y Distritales	Supervisión de las fuentes de emisión locales y supervisan los mercados, sectores industriales y el transporte.	Emiten normativas medioambientales y fomentan programas para disminuir la contaminación.

Nota: Información del Ministerio del Ambiente (MINAM), el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) y otras entidades gubernamentales.

1.9.3 MERCADO MAYORISTA SEÑOR DE PUELLES

Es un centro de suministro zonal de Mayorista que comenzó sus operaciones en el año 1990. Con 35 años de vida, se ha consolidado como un mercado constante en su comunidad.

Este mercado de Adobe acoge 451 empleos estables y cuenta con 80 empleos en funcionamiento de manera constante. Posee electricidad, si cuenta con suministro de agua, y si cuenta con sistema de drenaje. La Municipalidad gestiona el Mercado Mayoristas de Puelles. (Rosas, 2024)

Servicios:

Infraestructura y Lugares de Distribución: El mercado dispone de 451 puestos estables, de los cuales 80 se mantienen activos de forma

constante. La infraestructura abarca servicios fundamentales como electricidad, suministro de agua y sistema de drenaje.

Productos Proporcionados: Como mercado mayorista, se dedica a la comercialización al por mayor de una extensa variedad de productos, que abarcan alimentos frescos, artículos de regalo y otros productos de consumo, proveyendo tanto a comercios minoristas locales como a compradores directos. (Rosas, 2024)

Cantidad de Trabajadores: Personal y Comerciantes: En octubre de 2024, se reportó que más de 2,000 personas trabajan en el mercado, incluyendo comerciantes, estibadores, conductores y personal de apoyo.

1.9.4 CALIDAD DEL AIRE

A la mezcla uniforme de gases atmosféricos que están retenidos por la gravedad terrestre se le suele llamar aire. Como es una mezcla de gases esencial para la vida terrestre, el aire desempeña papeles protectores frente a otros factores externos como los meteoritos y la radiación solar. Asimismo, contribuye a la estabilidad química del planeta al agregar componentes gaseosos fundamentales, como el oxígeno que requiere la respiración. Además, el aire contribuye al ciclo hidrológico al contener vapor de agua, que genera precipitaciones a través de procesos de condensación y formación de nubes. (Berners-Lee, 2023)

El aire está formado por diversas partículas gaseosas que, normalmente, no pueden ser identificadas ni detectadas de forma individual. Sin embargo, en los laboratorios es posible licuar el aire (transformarlo en líquido) y después separar sus elementos. De esta manera se obtienen muchos de los componentes que la industria química utiliza. Las condiciones de temperatura y presión en las que se encuentran estos componentes al momento de realizar las mediciones determinan su composición y características. (Lopera, 2021)

El ser humano ha valorado el aire desde épocas antiguas, viéndolo como uno de los cuatro elementos fundamentales de la

naturaleza junto con la tierra, el agua y el fuego. Sin embargo, hoy en día se posee un entendimiento más detallado de sus propiedades, lo cual permite que se le saque más provecho. (Lopera, 2021)

1.9.5 COMPONENTES DEL AIRE

La composición de la atmósfera se mantiene relativamente estable en la troposfera, que es la capa más baja donde se desarrolla la vida y ocurren los fenómenos meteorológicos. Estos constituyen los componentes esenciales del aire:

- **Nitrógeno (N₂): 78%**

El gas que se halla en mayor cantidad en la atmósfera es el nitrógeno. A pesar de que es poco reactivo en su estado gaseoso, es esencial para la vida en la biosfera. El nitrógeno que hay en el aire no puede ser usado directamente por las plantas, sino que requiere ser transformado en compuestos como los nitratos o el amoníaco, lo cual es llevado a cabo por algunas bacterias y plantas especializadas. (Álvarez, 2018)

- **Oxígeno (O₂): 21%**

El oxígeno es un gas esencial para que la mayoría de los seres vivos, entre ellos los humanos, puedan respirar. Este elemento es esencial para los procesos metabólicos que generan energía a nivel celular y favorece la combustión. La vida tal como la conocemos no podría existir sin la existencia de oxígeno. (Martínez, 2023)

- **Argón (Ar): 0.93%**

El argón es un gas químicamente inactivo y de alta pureza. Su inercia química lo vuelve particularmente útil en aplicaciones científicas e industriales, a pesar de que no interviene en procesos biológicos o reacciones químicas importantes en la atmósfera. (Martínez, 2023)

- **Dióxido de carbono (CO₂): 0.04%**

A pesar de que el dióxido de carbono (CO₂) está presente en pequeñas proporciones, es fundamental para la fotosíntesis, proceso por el cual las plantas generan oxígeno y energía. Asimismo, es un gas de efecto invernadero relevante que colabora con el calentamiento global. Las acciones humanas, como la combustión de combustibles fósiles, han hecho que su concentración en la atmósfera aumente, lo cual ha provocado efectos importantes en el clima. (Martínez, 2023)

- **Vapor de agua (H₂O): Variable (0.1% a 4%)**

El nivel de vapor de agua en la atmósfera fluctúa en función del nivel de humedad y la temperatura. Este vapor es esencial para el ciclo del agua y tiene un rol crucial en la regulación de la temperatura del planeta. Además, es un gas crucial para el proceso del efecto invernadero. (Martínez, 2023)

Figura 1

El Aire y sus Componentes o Gases



Nota: Componentes del aire.

1.9.6 FUNCIONES DEL AIRE

Para que todas las formas de vida puedan subsistir, el aire es indispensable. La respiración de muchos animales y los humanos depende del oxígeno que hay en el aire. En cambio, las plantas utilizan el dióxido de carbono durante la fotosíntesis, un mecanismo que permite a las plantas transformar la energía solar en energía química.

Asimismo, el aire es esencial para que los seres vivos sobrevivan y funciona como un regulador natural de la temperatura y del clima en la Tierra. Los gases de efecto invernadero, entre ellos el vapor de agua y el dióxido de carbono, retienen la energía del sol, lo que hace posible que la temperatura se mantenga en niveles apropiados para la vida. La vida en la Tierra sería casi imposible si no existiera esta capa gaseosa, ya que las temperaturas oscilarían de manera drástica. Aquí puedes obtener información sobre los gases de efecto invernadero y su origen. (Criollo, 2022)

La radiación solar perjudicial es absorbida por la atmósfera terrestre. La estratosfera alberga una capa de ozono que atrapa y detiene la mayor parte de los rayos ultravioleta del sol, lo que protege a los seres vivos de tener quemaduras solares o cáncer cutáneo. El viento, que es el movimiento del aire, es esencial para repartir la humedad y el calor en todo el planeta. Los vientos contribuyen a balancear las temperaturas y mueven las nubes, lo que permite la repartición de las precipitaciones y garantiza que todas las zonas tengan acceso al agua, un recurso vital para vivir. (Criollo, 2022)

1.9.7 PROPIEDADES FÍSICAS DEL AIRE

- **Incoloro, inodoro e insípido:** El aire en su estado natural es incoloro, inodoro e insípido, por lo que resulta imperceptible para los sentidos humanos en condiciones ambientales habituales.
- **Densidad:** A una temperatura de 15°C y al nivel del mar, el aire presenta una densidad cercana a 1.225 kg/m³. Esta densidad disminuye gradualmente conforme aumenta la altitud, debido a la reducción de la presión atmosférica y la temperatura.
- **Presión:** Hace referencia a la fuerza que la masa de aire ejerce sobre la superficie de la Tierra. Bajo condiciones normales y al nivel del mar, esta presión equivale a 1013.25 hectopascales (hPa) o a 1 atmósfera (atm).
- **Temperatura:** La temperatura del aire cambia notablemente dependiendo de la altitud, la latitud y las condiciones climáticas del

área. Este aspecto afecta de manera directa la densidad del aire y su habilidad para retener vapor de agua. (Alembert, 2021)

1.9.8 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL AIRE

- **Reactividad:** Aunque la mayoría de los gases en el aire son químicamente estables, ciertos gases pueden reaccionar bajo condiciones específicas. Un caso destacado es el oxígeno, que funciona como un fuerte agente oxidante y es fundamental en procesos como la combustión y la respiración celular.
- **Solubilidad:** Los gases presentes en la atmósfera tienen diferentes grados de solubilidad en el agua. Por ejemplo, el oxígeno y el dióxido de carbono se disuelven en ambientes acuáticos, siendo esenciales para la vida de los ecosistemas que habitan en el agua.
- **Conductividad térmica:** El aire tiene una conductividad térmica baja, lo que indica que no transfiere el calor de forma eficiente. Gracias a esta característica, es un buen aislante térmico, motivo por el cual se utiliza en materiales destinados a mantener la temperatura.
- **Índice de refracción:** El índice de refracción del aire es aproximadamente 1.0003, lo que influye en cómo la luz se desvía al pasar a través de él. Esta propiedad es fundamental para entender fenómenos ópticos como la refracción y la dispersión de la luz. (Alembert, 2021)

1.9.9 ÍNDICE DE CALIDAD DE AIRE

El Índice de Calidad del Aire (ICA) es una herramienta que permite comunicar de manera accesible y comprensible el estado del aire a la población. Su diseño busca que cualquier persona, sin necesidad de conocimientos técnicos, pueda interpretar fácilmente la calidad del aire en su entorno. Asimismo, este índice estandariza los criterios de medición, lo que permite comparar de forma objetiva la calidad del aire entre diferentes zonas geográficas. (F Gilles, 2024)

La implementación del Índice de Calidad del Aire (ICA) en Europa tuvo lugar por primera vez en 2017, a través de una iniciativa

conjunta entre la Agencia Europea de Medio Ambiente y la Comisión Europea. Este índice fue desarrollado con el objetivo de proporcionar a los ciudadanos europeos una herramienta visual, sencilla y accesible para conocer el estado de la calidad del aire en distintas ciudades del continente. (F Gilles, 2024)

1.9.10 CÓMO SE CALCULA EL ÍNDICE DE CALIDAD EL AIRE

El Índice de Calidad del Aire (ICA) refleja el estado de la calidad del aire en cada estación de monitoreo, tomando como base la concentración de cinco contaminantes principales:

- Material particulado con diámetro menor a 10 micrómetros (PM₁₀)
- Material particulado con diámetro menor a 2.5 micrómetros (PM_{2.5})
- Ozono presente en la troposfera (O₃)
- Óxidos de nitrógeno, especialmente dióxido de nitrógeno (NO₂)
- Dióxido de azufre (SO₂)

El Índice de Calidad del Aire está estructurado en seis categorías que representan diferentes niveles de calidad, cada una asociada a un color específico.

Esta escala cromática facilita la comprensión por parte del público, ya que permite identificar visualmente el nivel de contaminación del aire. A continuación, se detallan las distintas categorías junto con sus respectivos códigos de color RGB:

Los colores asignados para clasificar la calidad del aire y sus respectivos códigos RGB son los siguientes: azul representa buena calidad con valores 56, 162 y 206; verde indica calidad razonablemente buena con los valores 50, 161 y 94; amarillo señala una calidad regular con valores 241, 229 y 73; rojo corresponde a condiciones desfavorables con 200, 52 y 65; granate marca una calidad muy desfavorable con 110, 22 y 29; morado se usa para niveles extremadamente desfavorables con valores 162, 91 y 164; y gris oscuro se emplea cuando no hay datos disponibles, con valores RGB de 85, 89 y 93.

El valor del Índice de Calidad del Aire se calcula a partir de las concentraciones registradas en cada estación de monitoreo, tomando en cuenta hasta cinco contaminantes atmosféricos principales:

- Material particulado en suspensión con tamaño menor a 10 micras (PM10)
- Material particulado fino con tamaño menor a 2.5 micras (PM2.5)
- Ozono presente en la troposfera (O₃)
- Óxidos de nitrógeno, principalmente dióxido de nitrógeno (NO₂)
- Dióxido de azufre (SO₂)

Este índice refleja el posible impacto de la calidad del aire sobre la salud humana. Por ello, se asigna el nivel más desfavorable de calidad del aire entre los contaminantes evaluados, priorizando así el que represente mayor riesgo.

Los índices de calidad del aire para cada contaminante han sido establecidos en función de los riesgos relativos asociados a la exposición a corto plazo a PM2.5, O₃ y NO₂, conforme a las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS). En el caso del SO₂, se han seguido las directrices específicas de la OMS, mientras que para otros contaminantes se han aplicado los límites establecidos en la Directiva de Calidad del Aire de la Unión Europea.

Figura 2

Colores según la categoría

SO ₂		PM _{2,5}		PM ₁₀		O ₃		NO ₂		CATEGORÍA DEL ÍNDICE
0	100	0	10	0	20	0	50	0	40	BUENA
101	200	11	20	21	40	51	100	41	90	RAZONABLEMENTE BUENA
201	350	21	25	41	50	101	130	91	120	REGULAR
351	500	26	50	51	100	131	240	121	230	DESFAVORABLE
501	750	51	75	101	150	241	380	231	340	MUY DESFAVORABLE
751-1250		76-800		151-1200		381-800		341-1000		EXTREMADAMENTE DESFAVORABLE

Nota: Clasificación según colores.

1.9.11 CONTAMINACIÓN DEL AIRE

La contaminación del aire constituye un problema ambiental y sanitario de gran relevancia, que se origina cuando se emiten a la atmósfera sustancias nocivas que deterioran su calidad. Estos contaminantes pueden tener origen tanto natural como antropogénica, es decir, derivados de actividades humanas, y sus efectos pueden ser perjudiciales tanto para la salud de los seres vivos como para los ecosistemas. (OMS O. M., 2024)

La contaminación del aire ocurre cuando se encuentran partículas sólidas suspendidas en la atmósfera o cuando la concentración de ciertos gases, que forman parte de su composición natural, supera los niveles establecidos, lo que los convierte en contaminantes. También es posible que se presente una combinación de ambos factores. (OMS O. M., 2024)

1.9.12 CONTAMINACIÓN POR EL SER HUMANO

- **Transporte:** Los vehículos motorizados liberan al ambiente contaminantes como dióxido de nitrógeno (NO₂), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y material particulado en

suspensión, los cuales representan una fuente importante de contaminación atmosférica en áreas urbanas.

- **Industria:** Las industrias y centrales eléctricas emiten diversos contaminantes atmosféricos, entre los cuales se encuentran el dióxido de azufre (SO_2), los óxidos de nitrógeno (NO_x), el monóxido de carbono (CO) y los compuestos orgánicos volátiles (COVs), contribuyendo de manera significativa a la degradación de la calidad del aire.
- **Agricultura:** La aplicación de fertilizantes y pesticidas agrícolas, junto con las emisiones de metano (CH_4) provenientes de la ganadería, constituyen fuentes importantes de contaminantes atmosféricos que contribuyen a la contaminación del aire.
- **Quema de combustibles fósiles:** La combustión de carbón, petróleo y gas natural en centrales eléctricas, residencias y vehículos genera una significativa emisión de contaminantes atmosféricos que afectan la calidad del aire. (Valldaura, 2019)

1.9.13 FUENTES DE CONTAMINACIÓN NATURALES

- **Volcanes:** Las erupciones volcánicas emiten grandes volúmenes de dióxido de azufre (SO_2), partículas de ceniza y diversos contaminantes atmosféricos, impactando considerablemente la composición del aire.
- **Incendios forestales:** Los incendios forestales y agrícolas liberan al aire partículas en suspensión, monóxido de carbono (CO) y diversos compuestos orgánicos volátiles, contribuyendo a la contaminación atmosférica.
- **Polvo y arena:** En regiones áridas, las tormentas de polvo y arena elevan significativamente la concentración de partículas en suspensión en la atmósfera, incrementando la contaminación del aire.
- **Emisiones biogénicas:** Las plantas y los suelos también liberan compuestos orgánicos volátiles (COVs) y otros gases al ambiente, contribuyendo de forma natural a la composición atmosférica. (Valldaura, 2019)

1.9.14 CAUSAS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE

Pese a que la atmósfera puede verse afectada por la caída de meteoritos o las erupciones volcánicas (que producen polvo en suspensión), estos sucesos no tienen lugar con tanta frecuencia en el periodo geológico presente. De este modo, su aportación a la contaminación del aire es inferior a la que nosotros, los humanos, producimos. A partir de la Revolución Industrial, el ser humano ha modificado materiales a nivel industrial y ha desechado residuos en cuerpos acuáticos y en la atmósfera, lo que ha modificado la composición atmosférica del planeta. Algunas de las principales fuentes de contaminación ambiental son el tráfico vehicular, las grandes industrias y las plantas energéticas que utilizan combustibles fósiles.

Para ilustrar, a finales del siglo XX, la utilización de aerosoles con clorofluorocarbonos (CFC) causó un deterioro considerable de la capa de ozono atmosférica. Asimismo, el infortunio del reactor nuclear de Chernóbil dispersó miles de partículas radiactivas que el viento llevó a las aldeas cercanas, lo cual tuvo un impacto negativo en la calidad del aire, del agua y de la tierra. (Campos, 2023)

1.9.15 CONSECUENCIAS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE

La contaminación del aire tiene un impacto negativo en la salud de los seres humanos, los animales y las plantas. La alteración del equilibrio químico y energético de la atmósfera puede tener diversas consecuencias, entre las que se incluyen:

- **Problemas respiratorios.** El aire contaminado puede perjudicar la salud de las personas, los animales y las plantas debido a la presencia de compuestos tóxicos y potencialmente cancerígenos.
- **Lluvias ácidas.** Ciertas sustancias químicas reaccionan con el vapor de agua presente en la atmósfera, generando ácidos y mezclas corrosivas que posteriormente precipitan hacia la superficie terrestre en forma de lluvia ácida.

- **Deterioro del agua.** La contaminación atmosférica afecta la calidad del agua, dado que el vapor de agua que se evapora y posteriormente precipita puede combinarse con contaminantes presentes en el aire.
- **Daño en la capa de ozono.** La capa de ozono, situada en las capas altas de la atmósfera y responsable de protegernos de la radiación solar, puede verse deteriorada por la influencia de ciertos gases, ocasionando su desgaste.
- **El efecto invernadero.** La existencia de determinados gases pesados en la atmósfera genera una capa química que retiene el calor, evitando que este se disipe hacia el espacio, lo cual contribuye al incremento de la temperatura global. (Frank, 2020)

1.9.16 PARTÍCULAS MENORES A 10 MICRÓMETROS (PM10)

Las partículas PM10 son pequeñas partículas sólidas o líquidas en suspensión en el aire, incluyendo polvo, cenizas, hollín, fragmentos metálicos, cemento o polen, con diámetros que oscilan entre 2.5 y 10 micrómetros (μm), donde un micrómetro equivale a la milésima parte de un milímetro. Estas partículas están constituidas principalmente por compuestos inorgánicos como silicatos y aluminatos, metales pesados, así como materia orgánica vinculada a partículas de carbono, como el hollín. Además, presentan un pH ácido, derivado de la combustión no controlada de diversos materiales. (Chapman, 2023)

1.9.17 FUENTES DE EMISIÓN Y APLICACIONES DE LAS PM10

Las fuentes que emiten partículas PM10 pueden ser tanto móviles como fijas. Se destaca que el 77,9% de la emisión total de estas partículas proviene del polvo resuspendido en el aire. Además, el sector industrial, la construcción, el comercio y el transporte de carga, que contribuyen con un 6,5%, también representan fuentes significativas de contaminación. (Sánchez, 2023)

Como fuentes secundarias de contaminación, se debe resaltar que el 3,7% del total de partículas PM10 proviene de las quemas

agrícolas, mientras que un 3,3% tiene su origen en actividades domésticas.

1.9.18 EFECTOS SOBRE LA SALUD HUMANA Y EL MEDIO AMBIENTE.

La exposición continua o frecuente a partículas PM10 puede afectar negativamente el sistema respiratorio, aunque sus efectos suelen ser menos severos que los de las partículas PM2.5 debido a su mayor tamaño. Estas partículas no alcanzan a penetrar los alvéolos pulmonares, quedando retenidas en la mucosa de las vías respiratorias superiores. Conforme a la Directiva 2008/50/CE, para salvaguardar la salud pública, las concentraciones de PM10 no deben exceder los 50 microgramos por metro cúbico en un período de 24 horas, más de 35 veces al año calendario. (Sánchez, 2023)

La mayor parte de estas partículas se depositan sobre el suelo, creando una capa de polvo que puede afectar negativamente la salud de los organismos terrestres y acuáticos.

1.9.19 IMPACTO AMBIENTAL Y SOCIAL DE LAS PARTÍCULAS PM10

- **Efectos sobre la salud**

El tamaño de las partículas está directamente vinculado con su potencial para causar problemas de salud. Las partículas con un diámetro menor a 10 micrómetros son las más nocivas, ya que pueden penetrar profundamente en los pulmones e incluso algunas logran ingresar al torrente sanguíneo. (Nixon, 2024)

La exposición a estas partículas puede impactar tanto en la función pulmonar como en la salud cardiovascular. Numerosos estudios científicos han asociado la inhalación de partículas contaminantes con diversos problemas de salud, tales como:

- a. Muerte prematura en personas con enfermedades cardíacas o pulmonares.
- b. Infartos de miocardio no mortales.

- c. Latidos irregulares del corazón.
- d. Agravamiento del asma.
- e. Reducción de la función pulmonar.
- f. Aumento de los síntomas respiratorios, como irritación en las vías respiratorias, tos o dificultad para respirar.
- g. La exposición a la contaminación por partículas afecta principalmente a personas con enfermedades cardíacas o pulmonares, niños y adultos mayores. Además, se asocia con un mayor riesgo de desarrollar cáncer de pulmón, vejiga, y en algunos estudios, cáncer de mama y color rectal, debido a los compuestos tóxicos presentes en el material particulado. (Cruz, 2020)

1.9.20 EFECTOS SOBRE EL MEDIOAMBIENTE

- **Deterioro en la visibilidad**

Las partículas finas (PM2.5) desempeñan un papel importante en la disminución de la visibilidad ambiental, generando bruma que afecta distintas regiones de Estados Unidos, incluyendo numerosos parques nacionales y áreas naturales protegidas. (Nixon, 2024)

- **Daño ambiental**

El viento tiene la capacidad de transportar las partículas a largas distancias, las cuales, una vez depositadas en el suelo o en cuerpos de agua, pueden causar diversos impactos dependiendo de su composición química. Estos efectos pueden incluir la alteración de la calidad del suelo, la contaminación de fuentes de agua y posibles cambios en los ecosistemas locales, afectando tanto a la fauna como a la flora:

- La acidificación de lagos y arroyos.
- Alteraciones en el balance nutricional de las aguas costeras y de grandes cuencas fluviales.
- Decrecimiento de los nutrientes del suelo.
- Deterioro de los bosques vulnerables y los cultivos agrícolas.
- Impacto negativo sobre la biodiversidad de los ecosistemas.

- Contribución a los efectos de la lluvia ácida.
- **Daño sobre materiales**

Las partículas en suspensión (PM) pueden causar daños y contaminación en diferentes materiales, afectando especialmente a estructuras de valor histórico y cultural como estatuas y monumentos. Gran parte de estos daños se atribuyen a la acción corrosiva de la lluvia ácida sobre estos materiales. (Nixon, 2024)

1.9.21 CLASIFICACIÓN DE LAS PARTÍCULAS PM10 SEGÚN SU TAMAÑO

Las partículas suspendidas en el aire se categorizan principalmente en función de su tamaño, empleando el diámetro aerodinámico como referencia para esta clasificación. Así, se distinguen comúnmente las partículas PM10 y PM2.5, que corresponden a aquellas con diámetros aerodinámicos menores a 10 μm y 2.5 μm . (Gilles, 2024)

El diámetro de las partículas es un factor clave, ya que a medida que disminuye el tamaño de las partículas, aumenta su capacidad de penetración en el sistema respiratorio, lo que incrementa su potencial riesgo para la salud.

Las partículas PM10, con un diámetro aerodinámico menor a 10 μm , pueden ser inhaladas por el sistema respiratorio debido a su tamaño reducido, lo que les otorga la característica de ser fracción respirable o inhalable.

Dentro del grupo de partículas PM10, se incluyen también partículas de menor tamaño o ultrafinas. Las partículas más grandes de esta categoría presentan un diámetro aerodinámico comprendido entre 2.5 y 10 μm (PM2.5-10), mientras que otra fracción más pequeña corresponde a las partículas con diámetro inferior a 2.5 μm (PM2.5). Además, existen partículas ultrafinas, conocidas como PM10, cuyo diámetro es menor a 1 μm . (Gilles, 2024)

Tabla 3*Clasificación de las partículas PM10 según su tamaño*

Nombre	Tamaño
PM ₁₀ (partículas respirables)	≤ 10 µm
PM _{2.5} (Partículas finas)	≤ 2,5 µm
PM ₁	≤ 1 µm
Ultrafinas (UFP or UP)	≤ 0,1 µm
PM ₁₀ -PM _{2.5} (fracción gruesa)	2,5 µm – 10 µm

Nota: Tamaño de las partículas Pm10.

1.9.22 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS PARTÍCULAS PM10

Determinar la composición química de las partículas PM10 es complejo debido a su gran diversidad, la cual depende de las fuentes que las generan. Sin embargo, de manera general, se puede afirmar que los elementos predominantes en las partículas PM10 incluyen:

- Sulfatos.
- Nitratos.
- Amonio.
- Sodio y cloro.
- Carbón elemental.
- Componentes minerales.
- Agua.

En la composición de las partículas PM10 también se encuentran otros compuestos en menor cantidad, como:

- **Elementos traza:** Estos comprenden metales pesados tales como plomo, cadmio, mercurio, níquel, cromo, zinc y manganeso.
- **Compuestos orgánicos traza:** Se pueden detectar compuestos como hidrocarburos aromáticos poli cíclicos (HAP), hidrocarburos alifáticos, aldehídos, ácidos carboxílicos y cetonas, entre otros.

1.9.23 PERMANENCIA DE LAS PARTÍCULAS PM10 EN EL AIRE

La duración de las partículas PM10 en la atmósfera es un factor clave para evaluar su riesgo para la salud. El tamaño de las partículas influye significativamente en el tiempo que permanecen suspendidas

en el aire. Las partículas PM10 pueden ser eliminadas del aire a través de procesos como la sedimentación o la lluvia. Sin embargo, a medida que las partículas son más pequeñas, como las PM2.5, tienen una mayor capacidad para mantenerse suspendidas durante más tiempo, lo que incrementa su potencial de riesgo para la salud. (Gilles, 2024)

- Las partículas con un diámetro superior a 20 μm pueden mantenerse en suspensión atmosférica durante varias horas.
- Aquellas partículas que miden entre 2 y 3 μm pueden permanecer suspendidas entre 2 y 4 días.
- Las partículas más pequeñas, con tamaños entre 0.1 y 1 μm , pueden mantenerse en suspensión por períodos mucho más prolongados, incluso semanas, debido a su reducido tamaño.

1.9.24 CLASIFICACIÓN DE LAS PARTÍCULAS PM10 SEGÚN SU ORIGEN

Las partículas PM10 también pueden clasificarse según su origen, el cual puede ser primario o secundario:

- **Primario:** Este término hace referencia a las partículas PM10 que son liberadas directamente al aire, ya sea por fuentes naturales o por actividades humanas como la combustión de combustibles, el tránsito vehicular o procesos industriales.
- **Secundario:** Este término describe las partículas PM10 que se generan dentro de la atmósfera mediante reacciones químicas entre sustancias precursoras, tales como dióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x), amoníaco (NH_3) y compuestos orgánicos volátiles, entre otros.

1.9.25 FUENTES FIJAS O ESTACIONARIAS

Las fuentes estacionarias de partículas PM10 son aquellas que están ubicadas en un lugar específico y fijo, como ocurre con las emisiones provenientes de las industrias. En estos establecimientos, las partículas PM10 pueden generarse debido a diversas actividades, tales como:

- Molienda, trituración o abrasión de materiales, que liberan partículas finas al aire.
- Evaporación de materia volátil, proceso en el que se generan compuestos gaseosos que pueden condensarse en partículas.
- Arrastre de partículas finas en flujos gaseosos, como ocurre durante procesos de secado, donde el aire transporta pequeñas partículas suspendidas.

1.9.26 FUENTES MÓVILES

Las fuentes móviles son aquellas que no tienen una ubicación fija, y dentro de esta categoría se incluyen las emisiones generadas por vehículos motorizados, como automóviles, camiones, maquinaria agrícola, locomotoras, embarcaciones de navegación marítima, entre otros. En estos casos, la generación de partículas PM10 se debe principalmente al proceso de combustión de los combustibles utilizados en estos medios de transporte y maquinaria. (Gilles, 2024)

Según datos proporcionados por el PRTR del Ministerio para la Transición Ecológica y el Desafío Demográfico, el 77,9% de las emisiones totales de PM10 provienen del polvo suspendido en la atmósfera. En cuanto a las fuentes específicas, el sector industrial, constructivo y comercial es responsable del 7,6%, mientras que el transporte de carga representa 6,5%. Además, las quemas agrícolas contribuyen con un 3,7% y las quemas domésticas con un 3,3% (F Gilles, 2024)

1.9.27 LEGISLACIÓN APLICABLE PARA LAS PARTÍCULAS PM10

El marco normativo europeo que definió los objetivos para la calidad del aire en cuanto a partículas PM10 y PM2.5 es la Directiva 2008/50/CE. Esta normativa tiene como finalidad principal establecer estándares armonizados para la calidad del aire ambiente, con el objetivo de proteger la salud pública y preservar el medio ambiente frente a los impactos negativos derivados de la contaminación atmosférica.

Emitida el 21 de mayo de 2008, esta directiva incluyó normativas para contaminantes adicionales, como las partículas menores a 2,5 µm, y estableció nuevos criterios para la evaluación de la calidad del aire, en concordancia con las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud.

En su artículo sobre las partículas PM10, la directiva establece que, para proteger la salud, la concentración de PM10 no debe superar los 50 microgramos por metro cúbico durante más de 35 días en un año civil.

Tabla 4

Valores para PM10 en el aire

Valor	Valor límite	Período
Valor límite diario (VLD) de PM10 para la protección de la salud humana (en vigor desde 1 de enero de 2005)	50 µg/m ³	Valor medio en 24 h No debe superarse en más de 35 ocasiones por año civil
Valor límite anual (VLA) de PM10 para la protección de la salud humana (en vigor desde 1 de enero de 2005)	40 µg/m ³	Año civil

Nota: Legislación aplicable para las partículas PM10.

1.9.28 TÉCNICAS DE MEDICIÓN

- **Atenuación por Radiación Beta**

Para determinar la concentración de partículas en suspensión respirables, sobre todo las fracciones PM10 y PM2.5, se utiliza el método mencionado anteriormente. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) respalda este procedimiento, que tiene la aprobación como Procedimiento Federal Equivalente (FEM) para el monitoreo constante de estas partículas.

En este procedimiento, se utiliza un isótopo radiactivo como el carbono-14 (14C) con el propósito de disminuir la emisión de rayos beta. El carbono-14 emite electrones de alta energía, denominados rayos beta, cuya radiación se difunde a través de un punto en una franja de vidrio limpia. Un detector de centelleo sensible captura y cuantifica

estos rayos beta, lo cual posibilita establecer una correlación entre la radiación y una medida de peso.

Seguidamente, la cinta de muestreo se desplaza hasta el orificio de la muestra. Allí, una bomba de vacío inyecta aire en una cantidad controlada y exacta que lleva las partículas de polvo. Este procedimiento posibilita que las partículas queden atrapadas en la cinta conforme el aire la atraviesa. El segmento de la cinta, que ahora tiene partículas, se coloca de nuevo entre el detector y la fuente de radiación beta después de terminar una hora de muestreo. En esta fase, se lleva a cabo una nueva evaluación de la radiación, que se reduce por la existencia de partículas acumuladas en la cinta.

Para calcular la masa de las partículas que están en la muestra, se emplea una disminución en la señal de radiación. La concentración volumétrica de las partículas en el aire se determina a partir de esta información, lo cual ofrece una estimación exacta del número de partículas en suspensión durante el muestreo.

- **Espectrometría de Absorción en el Ultravioleta**

Esta técnica se emplea para medir la concentración de ozono en la atmósfera, basándose en la capacidad del ozono para absorber radiación ultravioleta a una longitud de onda específica. El método consiste en emitir luz ultravioleta a través de una cámara de muestreo inicialmente vacía, registrando la intensidad de la luz transmitida. Posteriormente, la cámara se llena con la muestra de aire a analizar y se repite la medición de la luz ultravioleta.

La diferencia entre las intensidades de luz registradas en la cámara vacía y en la cámara con aire permite determinar la concentración de ozono, ya que la cantidad de radiación absorbida es proporcional a la concentración de este gas en la muestra.

- **Quimioluminiscencia**

Este método se emplea para determinar la concentración de dióxido de nitrógeno (NO_2) en la atmósfera mediante la técnica de

quimioluminiscencia, que consiste en la generación de luz producto de una reacción química. En este proceso, dos compuestos químicos reaccionan para formar un intermediario en un estado excitado de alta energía, que al retornar a su estado basal libera energía en forma de fotones. La intensidad de la luz emitida es proporcional a la concentración del contaminante en la muestra.

La reacción química principal que produce la quimioluminiscencia es la interacción entre el óxido nítrico (NO) y el ozono (O_3). Sin embargo, dado que el NO_2 no reacciona directamente con el ozono, la muestra de aire debe pasar previamente por un convertidor catalítico de molibdeno (Mo) calentado a $315^\circ C$. En este convertidor, el molibdeno reduce el NO_2 a NO, permitiendo así la medición precisa del dióxido de nitrógeno mediante la reacción luminiscente.

Para determinar la concentración de NO_2 en el aire, se realiza el siguiente procedimiento:

Primero, se mide la quimioluminiscencia de la muestra de aire sin que este pase por el convertidor catalítico, obteniendo así la concentración de óxido nítrico (NO).

Luego, la misma muestra se hace pasar a través del convertidor catalítico de molibdeno, que reduce el NO_2 a NO, y se mide nuevamente la quimioluminiscencia, lo que da la concentración total de NO_x ($NO + NO_2$).

Finalmente, al restar la concentración inicial de NO a la concentración total de NO_x , se obtiene la concentración de NO_2 presente en la muestra original.

- **Fluorescencia Pulsante en el Ultravioleta**

Esta técnica se emplea para cuantificar la concentración de dióxido de azufre (SO_2) en el aire, aprovechando la capacidad de las moléculas de SO_2 para emitir fluorescencia al ser excitadas por luz ultravioleta.

El método consiste en iluminar la muestra con una fuente de luz ultravioleta, lo que provoca que las moléculas de SO_2 absorban la energía de los fotones y posteriormente emitan pulsos de luz en una longitud de onda distinta. Al encender y apagar la luz UV de manera rápida y continua, se generan pulsos fluorescentes cuya intensidad es proporcional a la concentración de SO_2 en la muestra. Midiendo dicha intensidad, es posible determinar la cantidad de SO_2 presente en el aire analizado.

El proceso de fluorescencia para la detección de SO_2 consta de dos etapas principales:

Excitación: Las moléculas de dióxido de azufre son irradiadas con fotones a una longitud de onda de 214 nm. Al absorber esta energía, uno de los electrones de la molécula se eleva a un orbital de mayor energía, entrando en un estado excitado.

Emisión: Posteriormente, el SO_2 retorna a su estado fundamental liberando la energía absorbida en forma de un fotón con una longitud de onda de 330 nm, que corresponde a una radiación ultravioleta de menor energía que la excitación inicial.

No obstante, la medición puede verse afectada por la presencia de otros compuestos que también presentan fluorescencia en un rango espectral cercano, tales como hidrocarburos aromáticos poli cíclicos (como el naftaleno) y óxidos de nitrógeno. Para minimizar estas interferencias, se emplea una membrana de difusión que elimina dichos compuestos, garantizando así una medición más precisa de la concentración de SO_2 en el aire.

- **Espectrometría de Absorción en el Infrarrojo**

Para cuantificar la concentración de monóxido de carbono (CO) en el aire, se emplea una técnica basada en la absorción de radiación infrarroja. En este método, la muestra de aire se introduce en una cámara que es irradiada con luz infrarroja, mientras que en el extremo

opuesto se sitúa un detector que mide la radiación que atraviesa la muestra. Paralelamente, se realiza una medición de referencia en una cámara que contiene aire libre de CO (aire cero).

La diferencia entre ambas mediciones refleja la cantidad de radiación absorbida por el CO en la muestra, lo cual permite calcular con precisión su concentración atmosférica. Esta técnica se denomina correlación infrarroja debido a que se basa en la capacidad específica del monóxido de carbono para absorber radiación infrarroja en determinadas longitudes de onda). (Cortés, 2022)

1.10 DEFINICIONES CONCEPTUALES

1.10.1 AIRE

El aire es una mezcla de gases que forman la atmósfera terrestre, compuesta principalmente por nitrógeno (78%) y oxígeno (21%). También incluye dióxido de carbono, neón, helio y otros gases en menor cantidad. Estos componentes son vitales para los procesos biológicos, químicos y el equilibrio climático de la Tierra. (Manuel, 2021)

1.10.2 NITRÓGENO

El nitrógeno, un gas incoloro, insípido e inodoro, constituye el 78% del aire que respiramos. Es un no metal que se encuentra en forma gaseosa a temperatura y presión normales. Su punto de fusión es de -210 °C y su punto de ebullición es de -195,79 °C. (Álvarez, 2018)

1.10.3 DIÓXIDO DE CARBONO

El dióxido de carbono es un gas incoloro, inodoro, ligeramente ácido y no combustible. A presión constante, puede disolverse en agua. Su molécula tiene una estructura lineal, con un átomo de carbono unido a dos átomos de oxígeno, formando la fórmula $O = C = O$. (Yanguas, 2021)

1.10.4 PRESIÓN

Magnitud que se define como la derivada de la fuerza con respecto al área. (Herrera, 2020)

1.10.5 CALIDAD DE AIRE

Esta se refiere a los límites de exposición o valores límite ambientales, que son los niveles máximos o mínimos permitidos de sustancias, elementos, energía o sus mezclas en el entorno. Estos límites se establecen para prevenir peligros para la salud humana, el medio ambiente y la conservación de la naturaleza. (SINCA, 2016)

1.10.6 PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN

Las partículas suspendidas en el aire incluyen polvo, polen, hollín, humo y gotas pequeñas. Estas partículas representan un peligro para la salud, ya que son una mezcla compleja que puede afectar tanto a las personas como al medio ambiente. (Chapman, 2023)

1.10.7 OZONO TROPOSFÉRICO

El ozono troposférico no se emite directamente a la atmósfera, sino que se forma como contaminante secundario. Es el compuesto más representativo de los oxidantes fotoquímicos y constituye uno de los principales componentes del smog urbano. (Prieto, 2019)

1.10.8 MICRÓMETROS

Un micrómetro es un instrumento empleado para medir las dimensiones de un objeto mediante su envoltura. Algunos modelos son capaces de realizar mediciones precisas en incrementos de 1 μm . (Takizaki, 2025)

1.10.9 ESPECTROMETRÍA

La espectrometría UV-visible es una técnica analítica empleada para cuantificar diversas especies químicas, como cationes, aniones y compuestos, presentes en una solución, mediante la medición de su absorción de radiación ultravioleta o visible. (Fernández, 2018)

1.10.10 ULTRAVIOLETA

La radiación ultravioleta (UV) es un tipo de radiación no ionizante que se genera tanto de manera natural por el sol como de forma artificial a través de fuentes como las camas de bronceado. (Shah, 2024)

1.11 HIPOTESIS

1.11.1 HIPÓTESIS GENERAL

Ha: Se logró evaluar los factores meteorológicos en la concentración de partículas menores a 10 micrómetros en el mercado mayorista de Puelles, Huánuco – 2025.

Ho: No se logró evaluar los factores meteorológicos en la concentración de partículas menores a 10 micrómetros en el mercado mayorista de Puelles, Huánuco – 2025.

1.11.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICA

Ha1: Se logró determinar los niveles de concentración de partículas menores de 10 micrómetros (PM10) en distintas áreas a lo largo del día y en diferentes condiciones climáticas en el Mercado Mayorista de Puelles, 2025.

Ho1: No se logró determinar los niveles de concentración de partículas menores de 10 micrómetros (PM10) en distintas áreas a lo largo del día y en diferentes condiciones climáticas en el Mercado Mayorista de Puelles, 2025.

Ha2: Se logró Identificar los factores meteorológicos que contribuyen a la variabilidad de la concentración de PM10, como el tráfico vehicular, la actividad comercial y las condiciones meteorológicas en el Mercado Mayorista de Puelles, 2025.

Ho2: No se logró Identificar los factores meteorológicos que contribuyen a la variabilidad de la concentración de PM10, como el tráfico vehicular, la actividad comercial y las condiciones meteorológicas en el Mercado Mayorista de Puelles, 2025.

Ha3: Se logró Identificar los potenciales afectados debido a los niveles de concentración de PM10 encontrados en el Mercado Mayorista de Puelles, 2025.

Ho3: No se logró Identificar los potenciales afectados debido a los niveles de concentración de PM10 encontrados en el Mercado Mayorista de Puelles, 2025.

1.12 VARIABLES

1.12.1 VARIABLE DE CARACTERIZACIÓN

Factores Meteorológicos

1.12.2 VARIABLE DE INTERÉS

Concentración de partículas menores a 10 micrómetros (PM10)

1.13 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Título: Evaluación de los factores meteorológicos en la concentración de partículas menores a 10 micrómetros en el mercado mayorista de Puelles, Huánuco – 2025.

Tabla 5

Cuadro de Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADOR	UNIDAD DE MEDICIÓN	TIPO DE VARIABLE
Variable de Caracterización: Factores Meteorológicos	Los elementos climáticos son variables del aire que afectan el tiempo y el clima de una región en un momento dado. Estas variables se interrelacionan y pueden cambiar constantemente, influyendo en fenómenos como la temperatura, la humedad, la presión atmosférica y las precipitaciones. (Barros, 2022)	Se midieron mediante sensores meteorológicos y anemómetros digitales, registrando valores horarios durante cuatro días consecutivos en las estaciones ubicadas en el mercado mayorista de Puelles.	Parámetros meteorológicos	Precipitación	Milímetros (mm)	Numérica continua
				Dirección del Viento	Puntos cardinales	
				Velocidad del Viento	Kilómetros por hora (km/h)	
				Temperatura	Grados Centígrados (°C)	
Variable de Interés: Concentración de partículas menores a 10 micrómetros (PM10)	La concentración de partículas menores a 10 micrómetros (PM10) mide la cantidad de partículas pequeñas en el aire que pueden ser inhaladas, afectando la salud respiratoria y cardiovascular. Estas partículas provienen de fuentes tanto naturales como humanas, como el polvo, emisiones de vehículos e industrias, y se expresan en microgramos por metro cúbico. (Zeldin, 2025)	Se midió con equipos de monitoreo de calidad del aire instalados en cuatro estaciones durante cuatro días consecutivos, complementado con observación directa y conteo manual de actividades comerciales, logísticas y propiedades cercanas.	Partículas menores a 10µm (PM10)	Concentración promedio de PM10	µg/m³	Numérica Continua
			Frecuencia de medición	Número de horas de monitoreo (24h)	Días	
			Actividades Comerciales	Puestos de venta	Número de puestos	
			Actividades Logísticas	vehículos de carga	Número de vehículos	

Propiedades cerca mercado	al	Casas, centros comerciales, etc.	Número propiedades	de
---------------------------------	----	-------------------------------------	-----------------------	----

CAPÍTULO III

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

1.14 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Según Supo & Zacarias (2020), los tipos de investigación se clasifican por criterios:

Este estudio se clasifica como relacional debido a que tiene como objetivo identificar las posibles asociaciones entre las variables analizadas. No involucra intervención por parte del investigador, ya que no se alterarán los valores de las variables de estudio. Además, se considera retrospectivo, ya que no hay control directo de las mediciones por parte del investigador. Finalmente, es un estudio de tipo transversal, ya que se realizará una única medición de las variables.

1.15 ENFOQUE

Este proyecto de investigación adoptó un enfoque cuantitativo, ya que se enfoca en la recolección y análisis de datos numéricos con el objetivo de evaluar la concentración de partículas inferiores a 10 micrómetros. (Supo & Zacarias, 2020)

1.16 ALCANCE O NIVEL

El presente estudio corresponde a un estudio de nivel relacional. (Supo & Zacarias, 2020)

1.17 DISEÑO

El presente estudio sigue el diseño no experimental, porque no se manipulan las variables. (Supo & Zacarias, 2020)

1.18 POBLACIÓN Y MUESTRA

1.18.1 POBLACIÓN

El estudio realizado sobre la evaluación de los factores meteorológicos en la concentración de partículas menores a 10 micrómetros se llevó a cabo en el mercado mayorista de Puelles, ubicado en Huánuco.

Tabla 6*Coordenadas de los 4 puntos que conforman el mercado mayorista de Puelles*

Ubicación	Coordenadas UTM	
	Este	Norte
Jr Libertadores y Av. Alameda de la Republica	363616	8903297
Jr Libertadores	363535	8903171
Jr Libertadores	363760	8903117
Pj las moras	363809	8903163

Nota. Se muestran las coordenadas mercado mayorista de Puelles.

1.18.2 MUESTRA

La muestra estuvo compuesta por cuatro estaciones de monitoreo de aire ubicadas en el interior del mercado mayorista de Puelles, donde se realizaron cuatro días continuos de monitoreo en cada uno de los puntos seleccionados.

Tabla 7*Coordenadas de ubicación de las cuatro estaciones*

Puntos de monitoreo	Descripción	COORDENADAS UTM	
		ESTE	NORTE
AIR – 01	Entrada y Salida de vehículos de carga	363619	8903279
AIR - 02	Interiores del mercado	363662	8903168
AIR - 03	Puestos de venta	363699	8903233
AIR - 04	Estacionamiento de camiones	363586	8903190

Nota. Se muestran las coordenadas de las estaciones.

1.19 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Evaluación de los factores meteorológicos en la concentración de partículas menores a 10 micrómetros en el mercado mayorista de Puelles, Huánuco – 2025.

Tabla 8

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Variable	Indicadores	Técnica	Instrumento
Concentración de partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀)	Partículas menores a 10 μm (PM ₁₀)	Observacional directa	Muestreador de partículas (medidor PM ₁₀)
	Frecuencia de medición		
Factores meteorológicos	Precipitación	Observacional / Registro automático	Estación meteorológica (Pluviómetro digital)
	Dirección del viento	Observacional / Registro automático	Estación meteorológica (Veleta digital)
	Velocidad del viento	Observacional / Registro automático	Anemómetro digital
	Temperatura	Observacional / Registro automático	Sensor de temperatura digital
Actividades logísticas y comerciales	Número de vehículos de carga	Observación directa / Conteo manual	Ficha de conteo
	Número de puestos de venta	Observación directa / Conteo manual	Ficha de registro

Nota. Tabla de técnicas e instrumentos de recolección de datos.

1.19.1 PROTOCOLO DE DESARROLLO DEL ESTUDIO

Equipos

- MUESTREADOR DE PARTICULAS:

Para el monitoreo de PM₁₀, se utilizó un equipo Low-Vol de la marca Thermo Scientific LC-294. Este dispositivo funciona aspirando aire del entorno a un flujo constante, dirigiéndolo hacia un orificio de diseño especial, donde las partículas en suspensión se separan inercialmente en fracciones correspondientes a uno o más tamaños dentro del rango de PM₁₀. Las partículas se recopilan en un filtro de fibra de cuarzo durante un período de muestreo de 24 horas, y los resultados se expresan en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

- ESTACIÓN METEOROLÓGICA:

Para el registro de variables meteorológicas, se empleó una estación automática Davis. Este equipo permite la medición en tiempo real de parámetros como la temperatura del aire, velocidad y dirección del viento, y precipitación. Funciona mediante sensores integrados que transmiten los datos a una consola o registrador digital, permitiendo intervalos de lectura programados. La temperatura se mide mediante

un sensor termoeléctrico; la velocidad del viento con un anemómetro de copa, y su dirección mediante una veleta giratoria. La precipitación se registra con un pluviómetro de balancín de precisión. Los datos obtenidos son almacenados y expresados en unidades como Grados centígrados, km/h, mm y puntos cardinales, siendo exportables para análisis posterior.

Materiales

- Tablero
- Lapiceros
- Chaleco
- Casco blanco
- Hoja de campo

Reconocimiento y distribución del área a monitorear

- Reconocimiento y distribución del área a monitorear

Se llevó a cabo el reconocimiento del área donde se realizó el monitoreo, describiendo las características del entorno, como la dirección del viento, la velocidad del viento y la temperatura.

- Instalación de equipos de monitoreo

Se instalaron los equipos de monitoreo de partículas.

- El análisis se realizó durante dos días consecutivos.
- Se llevó a cabo el conteo de vehículos que ingresaron y salieron, así como de los puestos dedicados a las actividades comerciales.
- Los resultados fueron registrados en cuadernos de campo y posteriormente transcritos de manera adecuada en el trabajo de gabinete.

1.20 TÉCNICAS Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

El estudio se realizó a través de un análisis utilizando medidas de resumen, empleando programas como Microsoft Excel 2016. En este proceso, se utilizaron tablas y gráficos diversos, según fuera necesario, para presentar los resultados de manera adecuada.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

1.21 PROCESAMIENTO DE DATOS

1.21.1 CONCENTRACIÓN DE PARTÍCULAS MENORES DE 10 MICRÓMETROS (PM₁₀)

Tabla 9

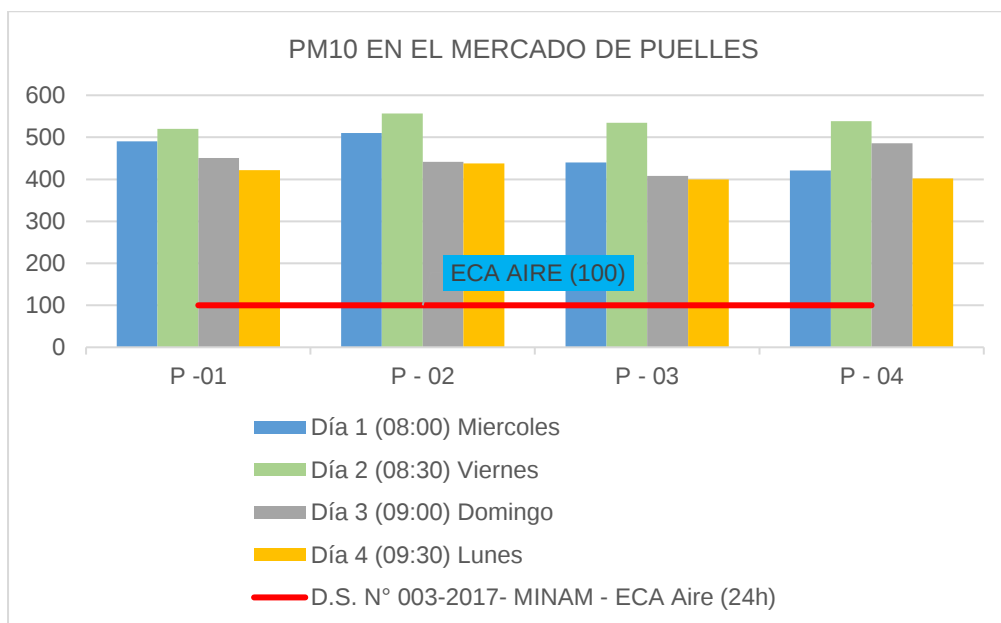
Concentración de partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀) en el Mercado Mayorista de Puelles durante cuatro días de monitoreo

Estación	Día 1 (08:00) Miércoles	Día 2 (08:30) Viernes	Día 3 (09:00) Domingo	Día 4 (09:30) Lunes	D.S. N° 003-2017- MINAM - ECA Aire (24h)
P - 01	490.23	520.43	450.32	421.54	100
P - 02	510.45	556.78	441.76	437.98	100
P - 03	440.34	534.67	408.39	399.45	100
P - 04	420.91	538.09	485.87	402.06	100

Nota: Los valores están expresados en microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Según el D.S. N° 003-2017-MINAM, el valor máximo permisible para PM₁₀ en promedio de 24 horas es de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Todos los puntos monitoreados superan ampliamente este límite, indicando una alta concentración de material particulado en el ambiente.

Figura 3

Comparación de los niveles de concentración de PM₁₀ en cuatro puntos de monitoreo del Mercado Mayorista de Puelles durante cuatro días, en relación con el ECA para aire



Nota: El gráfico muestra la concentración de PM₁₀ en los puntos P-01 a P-04 durante cuatro jornadas distintas. Se incluye una línea horizontal de referencia correspondiente al límite del ECA para aire (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Se observa que, en todos los

casos, los valores registrados sobrepasan el estándar nacional de calidad ambiental, lo cual evidencia una situación crítica de contaminación del aire en la zona evaluada.

1.21.2 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS DEL AIRE EN LOS PUNTOS DE MONITOREO

a. Temperatura

Tabla 10

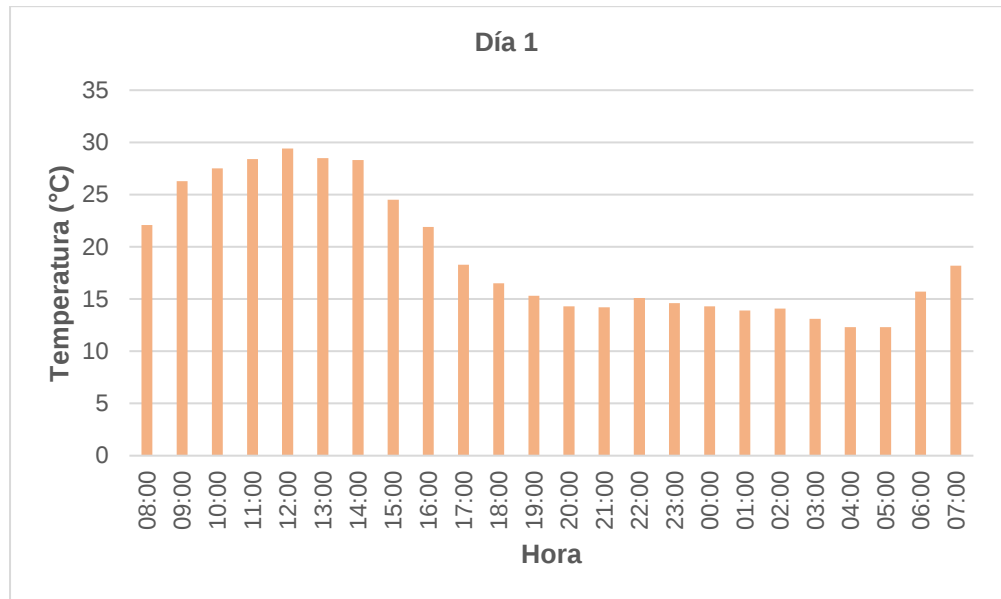
Temperatura horaria registrada en el Mercado Mayorista de Puelles durante cuatro días de monitoreo

Hora	Temperatura			
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4
08:00	22.1	23.1	24.4	22.4
09:00	26.3	25.4	26.3	25.6
10:00	27.5	26.8	28.1	26.6
11:00	28.4	27.3	25.4	26.7
12:00	29.4	27.6	24.5	26.9
13:00	28.5	25.3	25.3	27.4
14:00	28.3	24.3	26.9	28.5
15:00	24.5	26.4	26.7	25.5
16:00	21.9	27.5	27.6	24.3
17:00	18.3	19.9	22.1	22.1
18:00	16.5	15.3	18.9	19.2
19:00	15.3	14.3	15.6	17.3
20:00	14.3	13.4	14.2	14.2
21:00	14.2	12.4	13.2	12.5
22:00	15.1	12.5	12.5	13.2
23:00	14.6	12.6	13.2	13.4
00:00	14.3	12.9	13.2	12.4
01:00	13.9	12.3	12.3	12.3
02:00	14.1	12.4	12.5	12.1
03:00	13.1	12.6	12.4	12.2
04:00	12.3	12.3	12.5	12.8
05:00	12.3	13.4	12.5	12.3
06:00	15.7	15.3	15.7	15.3
07:00	18.2	19.2	19.4	18.2
Promedio	19.13	18.52	18.98	18.89

Nota: Los valores están expresados en grados Celsius (°C). Se observa una variación térmica a lo largo del día en cada jornada registrada, con temperaturas más altas entre las 10:00 y 14:00 horas, y valores mínimos entre las 02:00 y 06:00 horas. El promedio diario se muestra en la última fila.

Figura 4

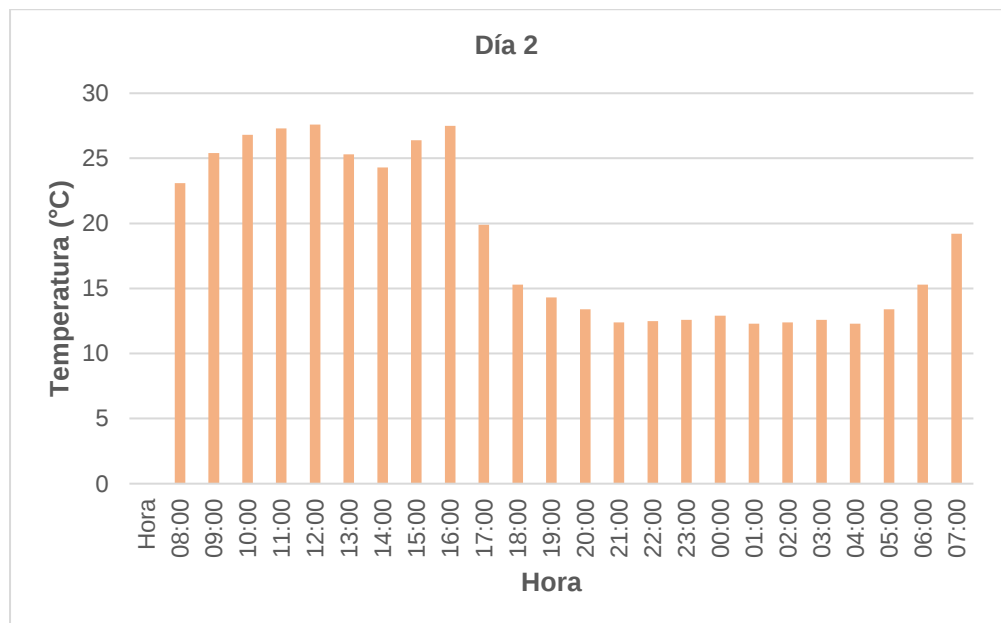
Variación horaria de la temperatura durante el Día 1



Nota: La temperatura muestra un aumento progresivo desde las primeras horas de la mañana, alcanzando su pico máximo alrededor del mediodía y disminuyendo paulatinamente hacia la noche y madrugada.

Figura 5

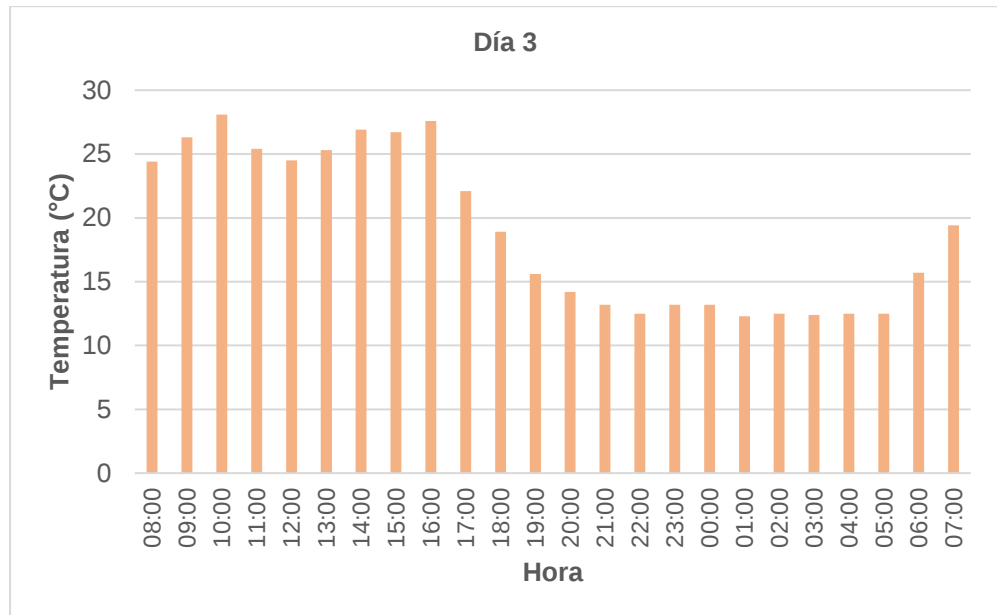
Variación horaria de la temperatura durante el Día 2



Nota: Durante esta jornada, la temperatura se mantiene relativamente estable con ligeras fluctuaciones, presentando su valor más alto en las horas centrales del día y descendiendo hacia la madrugada.

Figura 6

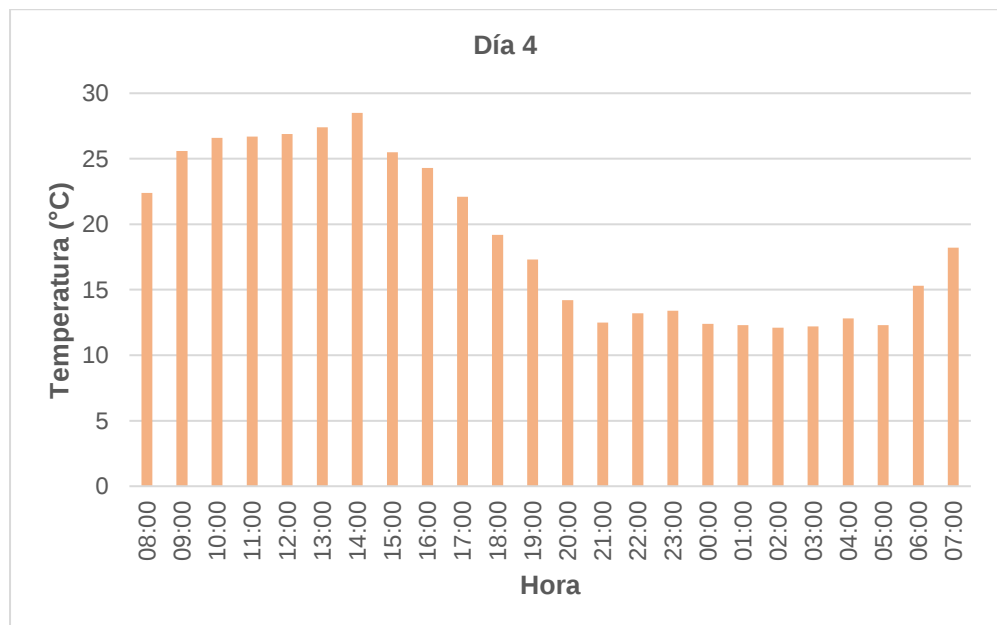
Variación horaria de la temperatura durante el Día 3



Nota: Se observa una temperatura en ascenso desde la mañana, con un pico alrededor del mediodía y una ligera caída hacia la noche, indicando un patrón térmico típico de la zona.

Figura 7

Variación horaria de la temperatura durante el Día 4



Nota: El comportamiento térmico en este día presenta un aumento paulatino desde las primeras horas, con valores máximos en el rango medio de la jornada y una disminución hacia la madrugada siguiente.

b. Velocidad del Viento

Tabla 11

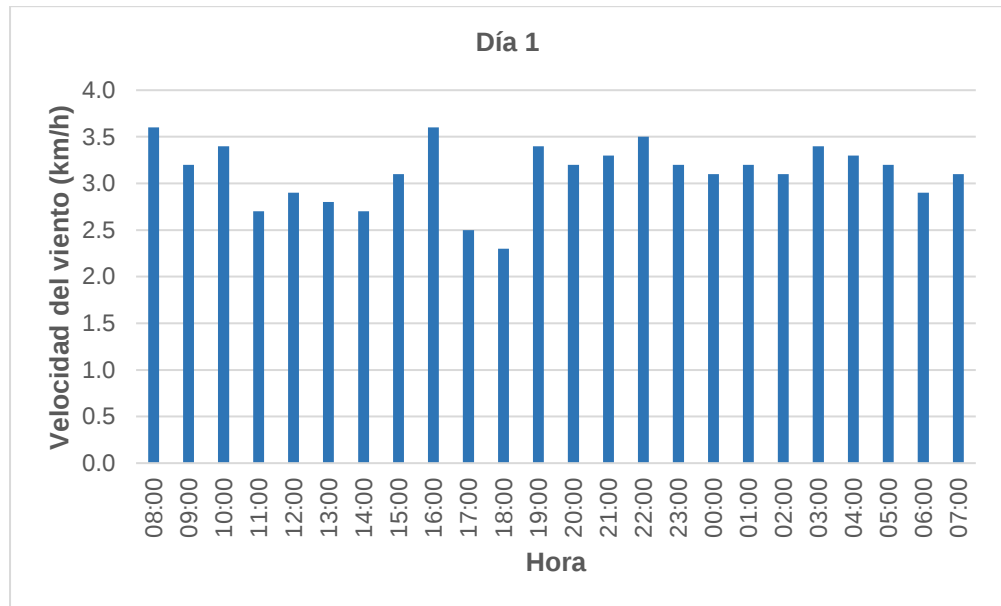
Velocidad horaria del viento registrada en el Mercado Mayorista de Puelles durante cuatro días de monitoreo

Hora	Velocidad del Viento			
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4
08:00	3.6	2.9	3.1	2.9
09:00	3.2	3.1	3.4	3.1
10:00	3.4	3.4	3.4	3.0
11:00	2.7	3.1	3.4	3.2
12:00	2.9	3.2	3.4	3.3
13:00	2.8	3.4	3.4	3.0
14:00	2.7	3.6	3.3	3.3
15:00	3.1	3.2	3.3	3.3
16:00	3.6	3.3	3.0	3.4
17:00	2.5	3.4	3.3	3.4
18:00	2.3	3.2	3.1	3.5
19:00	3.4	3.1	3.5	3.2
20:00	3.2	3.4	3.2	3.4
21:00	3.3	3.1	3.3	3.3
22:00	3.5	3.4	3.1	3.2
23:00	3.2	3.1	3.1	3.2
00:00	3.1	3.4	3.2	3.2
01:00	3.2	3.3	3.4	3.1
02:00	3.1	3.2	3.5	3.1
03:00	3.4	3.2	3.6	3.4
04:00	3.3	3.3	3.4	3.1
05:00	3.2	3.4	3.4	3.2
06:00	2.9	3.4	3.4	3.2
07:00	3.1	3.3	3.2	2.9
Promedio	3.11	3.27	3.31	3.20

Nota: La velocidad del viento está expresada en kilómetros por hora (km/h). Durante las jornadas monitoreadas se observan variaciones leves, con promedios diarios que oscilan entre 3.11 y 3.31 km/h, indicando condiciones de viento relativamente constantes en el área de estudio. Estas velocidades pueden influir en la dispersión de partículas contaminantes como PM₁₀ en el ambiente.

Figura 8

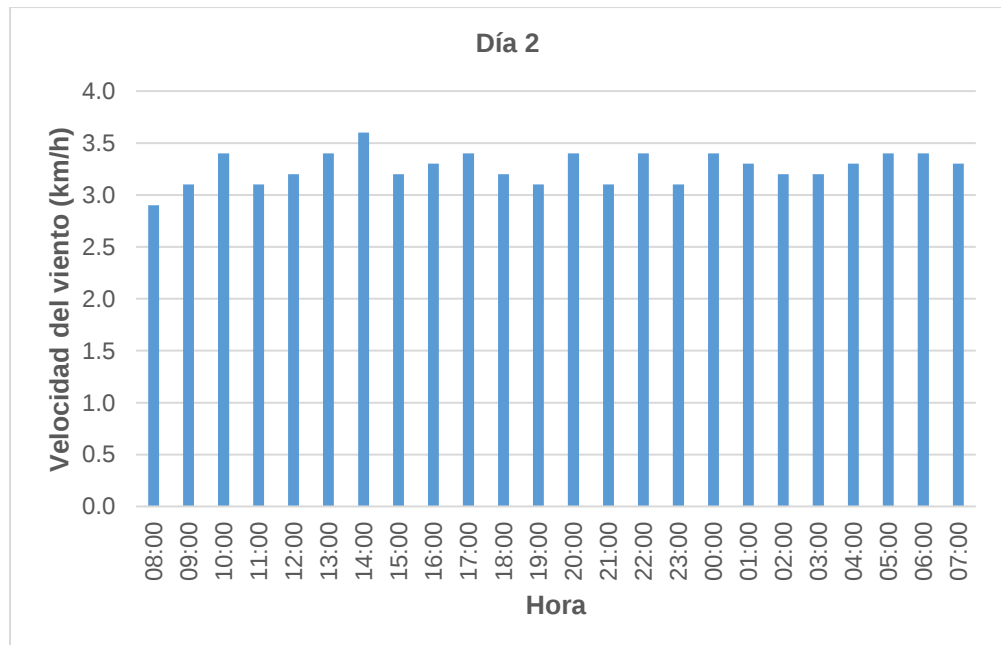
Variación horaria de la velocidad del viento durante el Día 1



Nota: La velocidad del viento durante el Día 1 presenta fluctuaciones moderadas, con valores que oscilan alrededor de 3.1 km/h, mostrando estabilidad que puede favorecer la dispersión moderada de contaminantes.

Figura 9

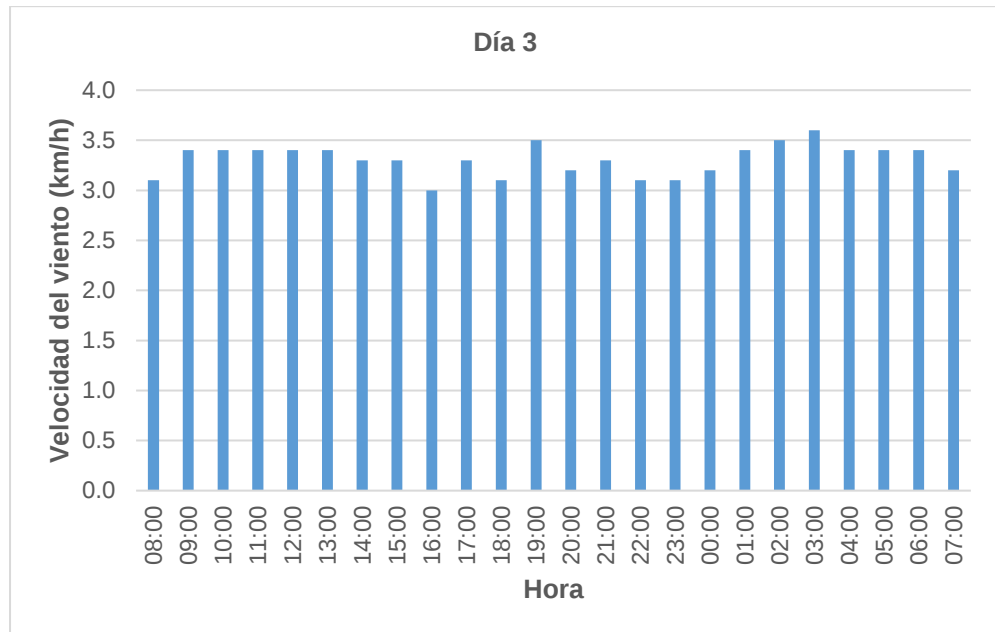
Variación horaria de la velocidad del viento durante el Día 2



Nota: En el Día 2, la velocidad del viento se mantiene ligeramente superior a la del día anterior, con un promedio cercano a 3.27 km/h, indicando condiciones un poco más favorables para la dispersión de partículas.

Figura 10

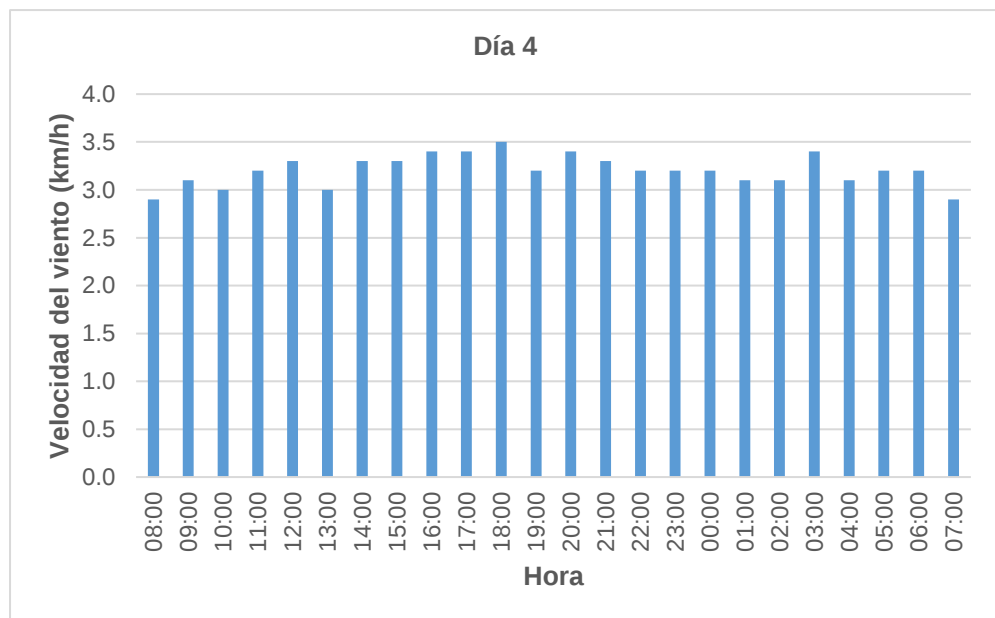
Variación horaria de la velocidad del viento durante el Día 3



Nota: Durante el Día 3, se observa una leve tendencia al aumento en la velocidad del viento, con un promedio de 3.31 km/h, lo cual podría contribuir a una mayor dispersión de partículas contaminantes en el área.

Figura 11

Variación horaria de la velocidad del viento durante el Día 4

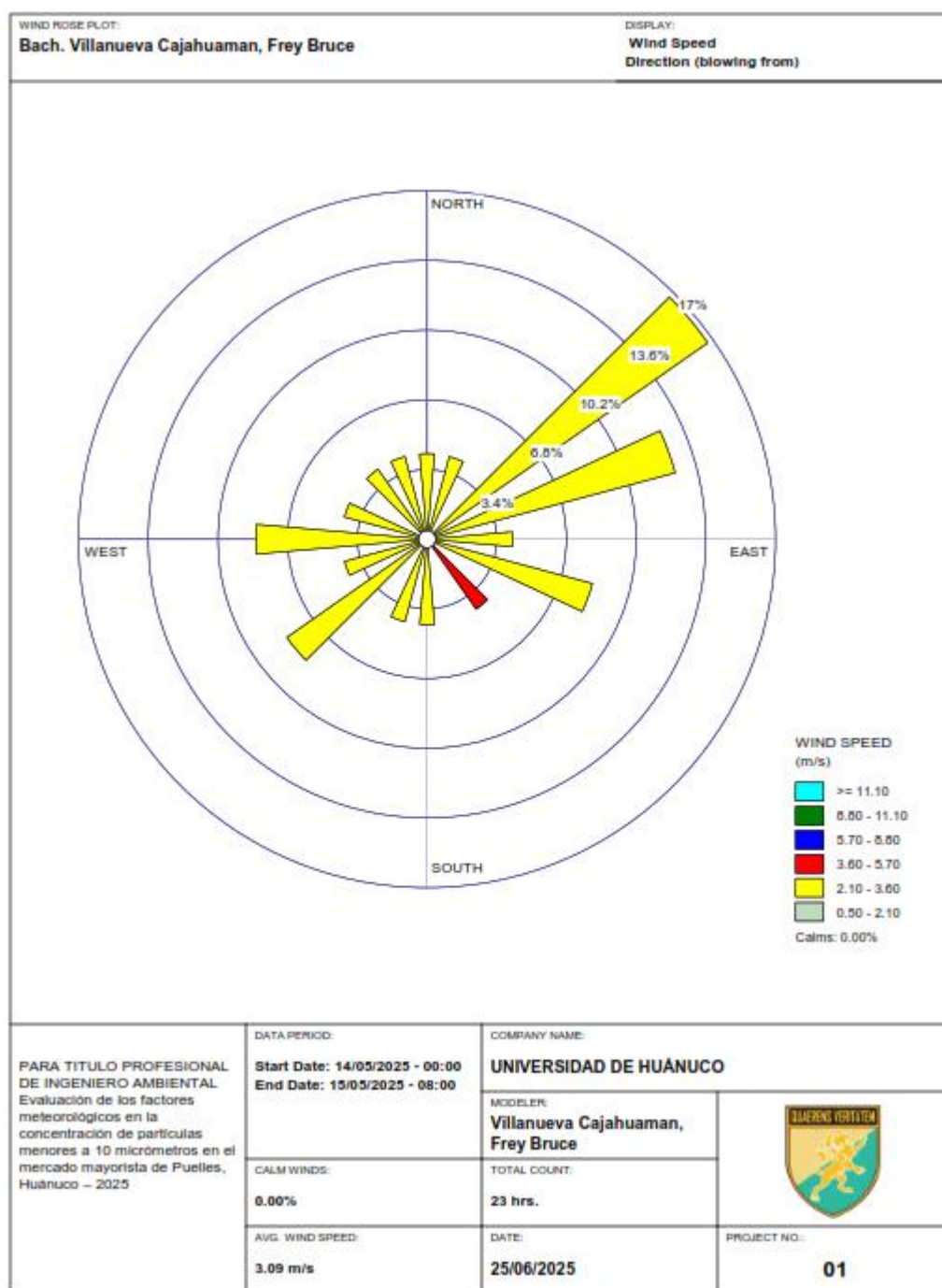


Nota: En el Día 4, la velocidad del viento presenta valores estables con un promedio de 3.20 km/h, manteniendo condiciones similares a los días anteriores para la dispersión atmosférica.

c. Dirección del Viento

Figura 12

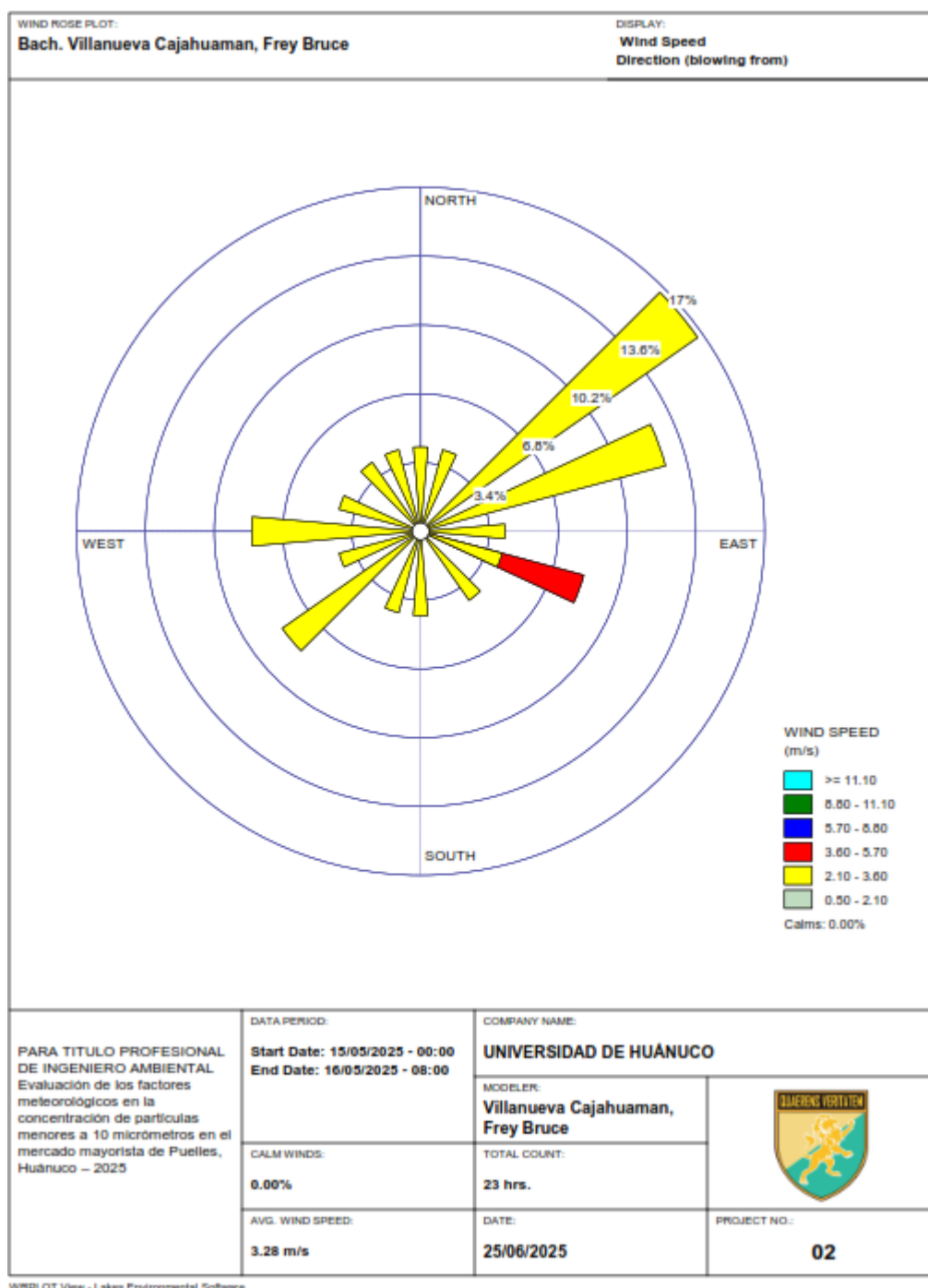
Rosa de viento de la dirección y velocidad del viento del punto P – 01



Nota: La rosa de viento representa la distribución de las direcciones predominantes del viento durante el período de monitoreo, desde las 08:00 hasta las 08:00 del siguiente día, con una velocidad promedio de 3.11 m/s. Se observa una mayor frecuencia de vientos provenientes del Sureste y Este-Sureste, alcanzando velocidades entre 2.10 y 3.30 m/s, lo cual puede influir en la dispersión o acumulación de partículas PM_{10} en determinadas áreas del mercado.

Figura 13

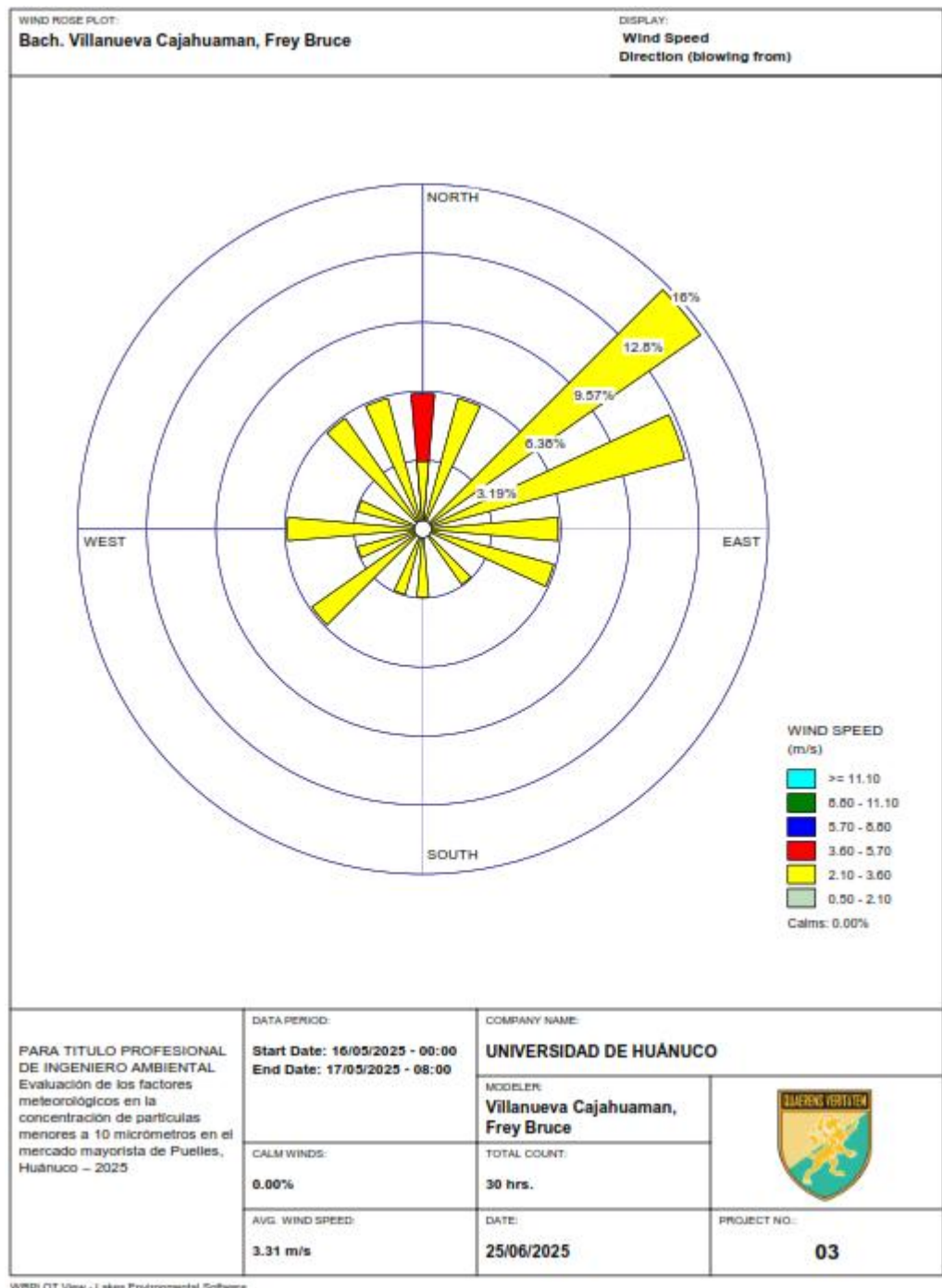
Rosa de viento de la dirección y velocidad del viento del punto P - 02



Nota: La rosa de viento representa la distribución de las direcciones predominantes del viento durante el período de monitoreo, desde las 08:30 hasta las 08:30 del siguiente día, con una velocidad promedio de 3.27 m/s. Se observa una mayor frecuencia de vientos provenientes del Sureste y Este-Sureste, alcanzando velocidades entre 2.90 y 3.60 m/s, lo cual puede influir en la dispersión o acumulación de partículas PM_{10} en determinadas áreas del mercado.

Figura 14

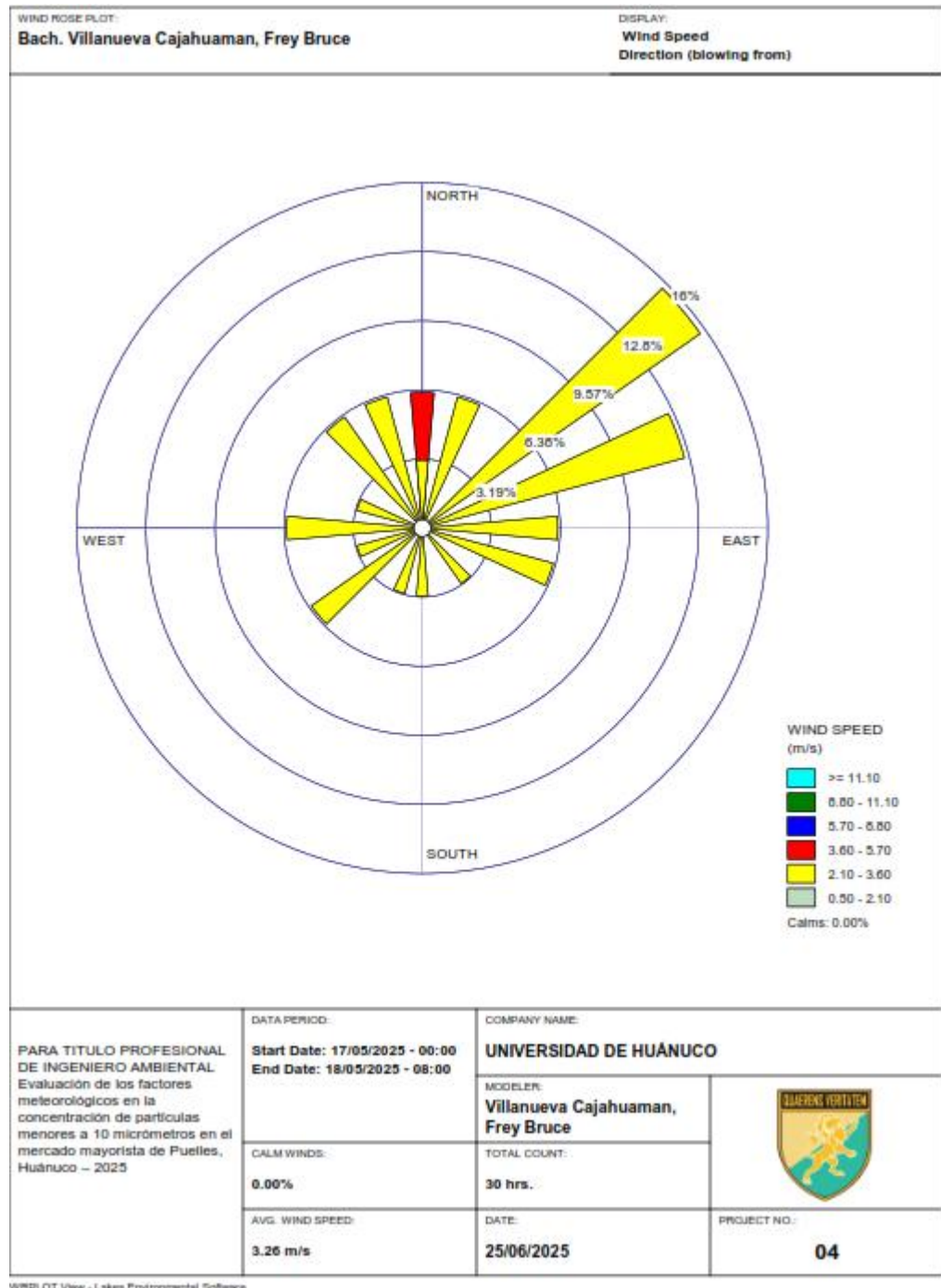
Rosa de viento de la dirección y velocidad del viento del punto P - 03



Nota: La rosa de viento representa la distribución de las direcciones predominantes del viento durante el período de monitoreo, desde las 09:00 hasta las 09:00 del siguiente día, con una velocidad promedio de 3.31 m/s. Se observa una mayor frecuencia de vientos provenientes del Sureste y Este-Sureste, alcanzando velocidades entre 3.00 y 3.50 m/s, lo cual puede influir en la dispersión o acumulación de partículas PM₁₀ en determinadas áreas del mercado.

Figura 15

Rosa de viento de la dirección y velocidad del viento del punto P - 04



Nota: La rosa de viento representa la distribución de las direcciones predominantes del viento durante el período de monitoreo, desde las 09:30 hasta las 09:30 del siguiente día, con una velocidad promedio de 3.20 m/s. Se observa una mayor frecuencia de vientos provenientes del Sureste y Este-Sureste, alcanzando velocidades entre 2.90 y 3.50 m/s, lo cual puede influir en la dispersión o acumulación de partículas PM₁₀ en determinadas áreas del mercado.

d. Precipitación

Tabla 12

Registro horario de precipitación durante cuatro días de monitoreo en el Mercado Mayorista de Puelles

Hora	Precipitación			
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4
08:00	0	0	0	0
09:00	0	0	0	0
10:00	0	0	0	0
11:00	0	0	0	0
12:00	0	0	0	0
13:00	0	0	0	0
14:00	0	0	0	0
15:00	0	0	0	0
16:00	0	0	0	0
17:00	0	0	0	0
18:00	0	0	0	0
19:00	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0
00:00	0	0	0	0
01:00	0	0	0	0
02:00	0	0	0	0
03:00	0	0	0	0
04:00	0	0	0	0
05:00	0	0	0	0
06:00	0	0	0	0
07:00	0	0	0	0

Nota: Durante los cuatro días de monitoreo no se registraron precipitaciones en ninguna de las horas evaluadas, lo que indica condiciones secas y sin lluvia en el área de estudio durante el período analizado. Esta ausencia de precipitación puede favorecer la concentración y dispersión de partículas PM₁₀ en el ambiente.

1.21.3 ACTIVIDADES RELACIONADAS CON LA VARIABILIDAD DE PM_{10} EN EL MERCADO MAYORISTA DE PUELLES

a. Puestos de Venta

Tabla 13

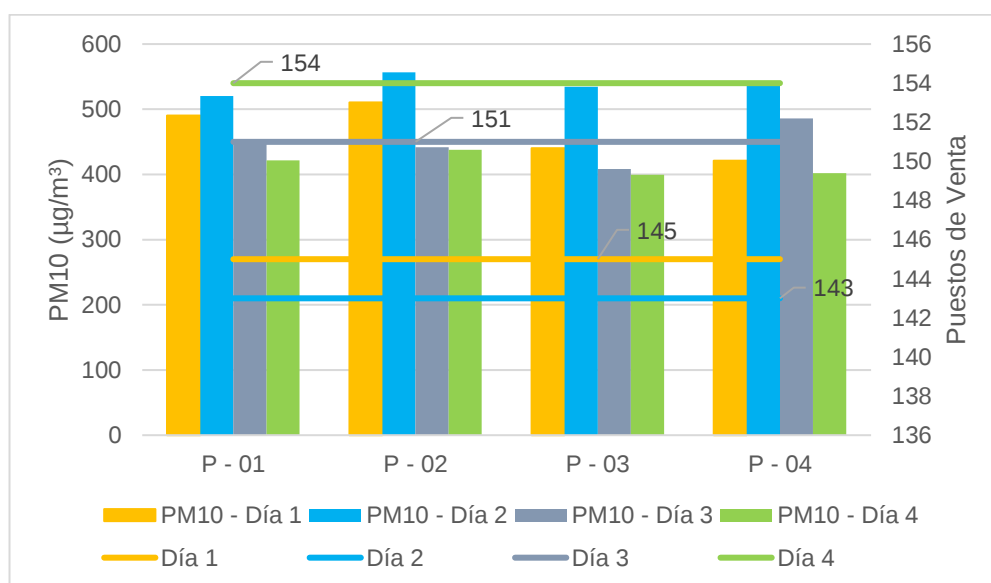
Relación entre los niveles de concentración de PM_{10} y la cantidad de puestos de venta

Estación	Pm 10				Puestos de venta			
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4
P - 01	490.23	520.43	450.32	421.54				
P - 02	510.45	556.78	441.76	437.98				
P - 03	440.34	534.67	408.39	399.45	145	143	151	154
P - 04	420.91	538.09	485.87	402.06				

Nota: El gráfico muestra la relación entre la concentración de PM_{10} y la cantidad de puestos de venta diarios en el Mercado de Puelles. Aunque la actividad comercial aumentó ligeramente entre los días 1 y 4, los niveles de PM_{10} no variaron de forma proporcional, lo que indica la influencia de otros factores como el clima o el tránsito vehicular.

Figura 16

Comparación de la concentración de PM_{10} y la cantidad de puestos de venta



Nota: El gráfico muestra la relación entre PM_{10} y la cantidad de puestos de venta diarios en el Mercado Mayorista de Puelles. Aunque la actividad comercial aumentó entre los días 1 y 4, los niveles de PM_{10} no siguieron la misma tendencia, lo que sugiere influencia de factores como clima y tránsito.

b. Vehículos de Carga

Tabla 14

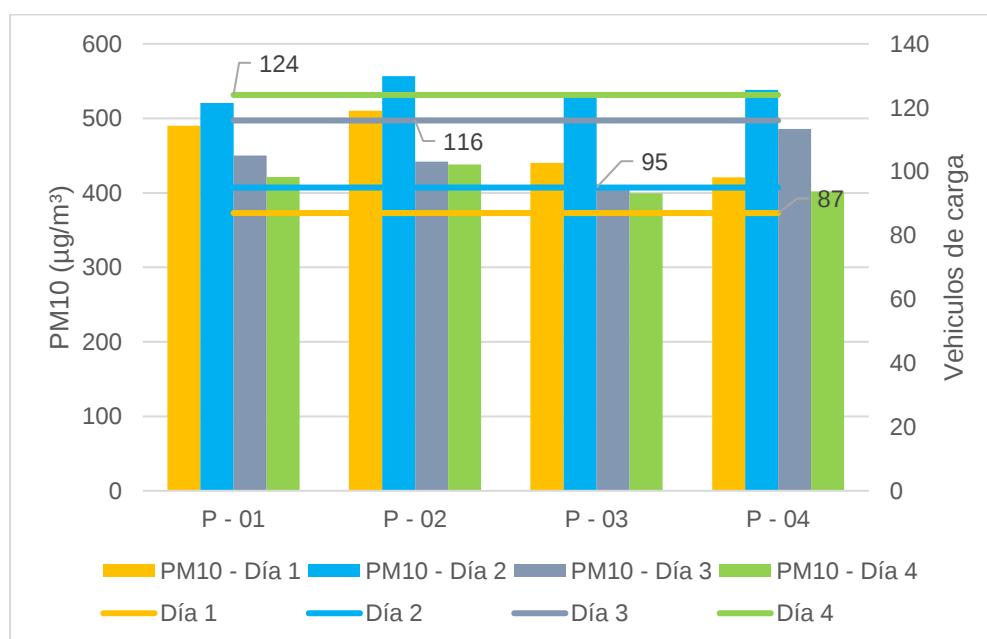
Relación entre los niveles de concentración de PM_{10} y la cantidad de vehículos de carga

Estación	PM 10				Vehículos de carga			
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4
P - 01	490.23	520.43	450.32	421.54				
P - 02	510.45	556.78	441.76	437.98				
P - 03	440.34	534.67	408.39	399.45	87	95	116	124
P - 04	420.91	538.09	485.87	402.06				

Nota: Los valores de PM_{10} están expresados en microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y los datos de vehículos corresponden al número total de unidades de carga que circularon diariamente en la zona de estudio, aplicable a las cuatro estaciones. Se observa un aumento progresivo de vehículos de carga entre los días 1 y 4, lo cual podría estar relacionado con la variabilidad de las concentraciones de partículas en el aire.

Figura 17

Comparación de la concentración de PM_{10} y la cantidad de Vehículos de Carga



Nota: El gráfico compara los niveles diarios de PM_{10} con el número de vehículos de carga registrados. Si bien se evidencia un aumento en el tránsito vehicular entre los días 1 y 4, los niveles de PM_{10} no muestran una relación directamente proporcional, lo que sugiere la influencia adicional de factores como la meteorología o la actividad comercial.

c. Casas, Centros Comerciales, Bodegas

Tabla 15

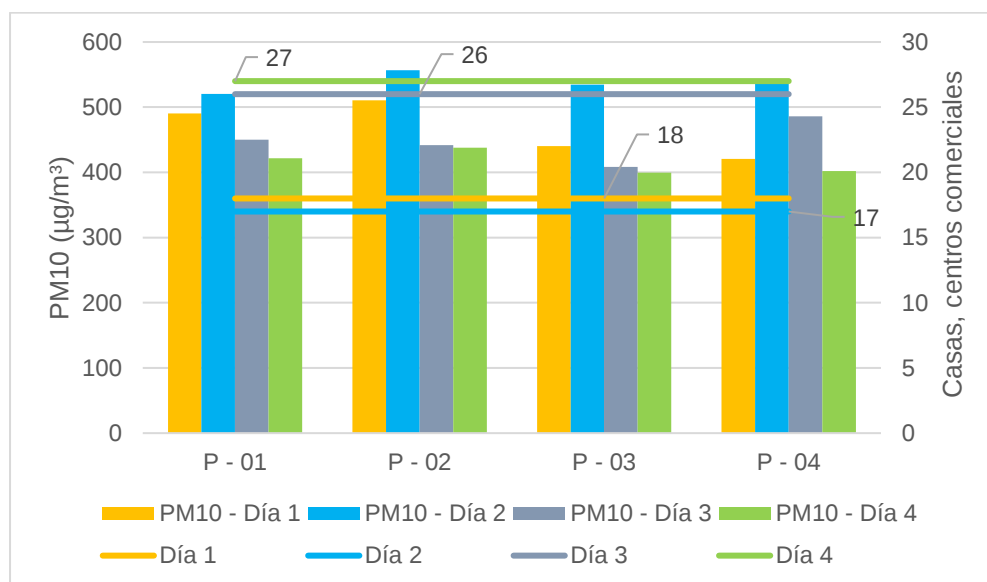
Relación entre los niveles de concentración de PM_{10} y la cantidad de edificaciones cercanas y dentro del mercado (casas, centros comerciales, bodegas, etc.)

Estación	PM 10				Casas, centros comerciales, etc.			
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4
P - 01	490.23	520.43	450.32	421.54				
P - 02	510.45	556.78	441.76	437.98				
P - 03	440.34	534.67	408.39	399.45	18	17	26	27
P - 04	420.91	538.09	485.87	402.06				

Nota: Los valores de PM_{10} están expresados en microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), mientras que el número de edificaciones corresponde al total de construcciones cercanas a la zona de influencia de cada estación, siendo estos datos aplicables de forma general a los cuatro puntos de monitoreo. Se observa una ligera variación en el número de edificaciones entre los días de evaluación, lo cual podría influir en la retención de partículas en el aire debido a la obstrucción del flujo del viento o la generación de polvo en zonas urbanas densas.

Figura 18

Comparación de la concentración de PM_{10} y la cantidad de edificaciones cercanas y dentro del mercado

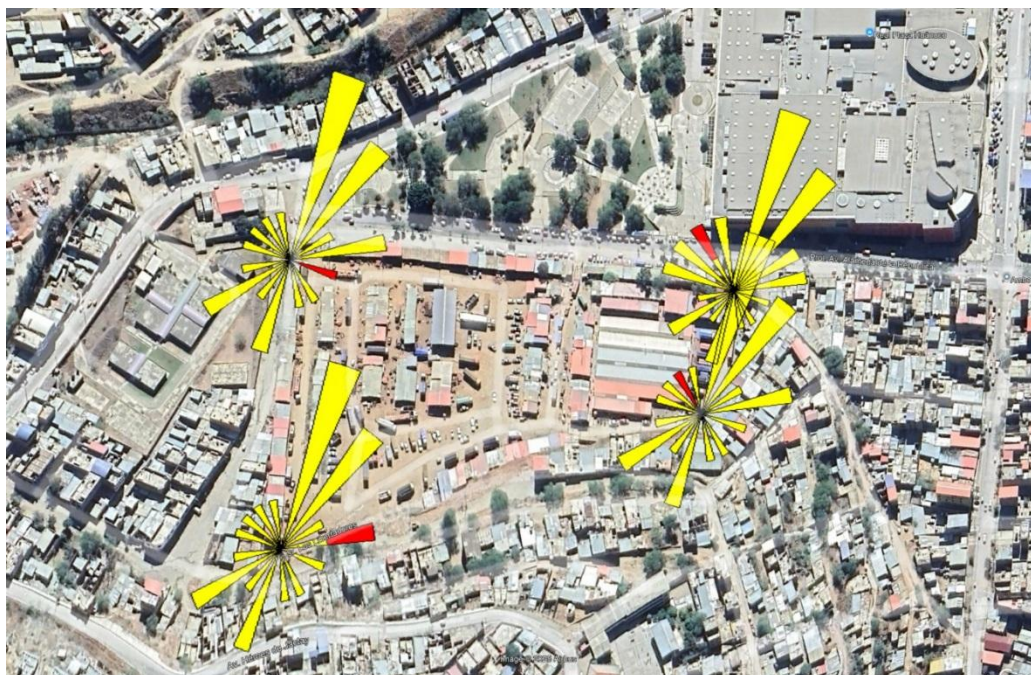


Nota: El gráfico compara los niveles de PM_{10} con la cantidad diaria de edificaciones cercanas a las estaciones de monitoreo. A pesar de que se registra un leve incremento en la cantidad de construcciones entre los días 1 y 4, los niveles de PM_{10} no siguen una tendencia lineal, lo que sugiere que su concentración está determinada por múltiples factores, no únicamente por la densidad urbana.

1.21.4 ROSA DE VIENTO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE POTENCIALES AFECTADOS EN EL MERCADO MAYORISTA DE PUELLES

Figura 19

Dirección del viento en los puntos de monitoreo superpuestos al mapa del Mercado Mayorista de Puelles



En la Figura se aprecia la distribución de las rosas de viento superpuestas sobre el mapa del Mercado Mayorista de Puelles, lo que permite visualizar las direcciones predominantes del viento en cada estación de monitoreo. Combinando esta información con los niveles de concentración de PM_{10} registrados, se observa que todos los puntos superan ampliamente el Estándar de Calidad Ambiental para aire ($100 \mu g/m^3$), alcanzando valores entre $399.45 \mu g/m^3$ y $556.78 \mu g/m^3$. Las estaciones P-01 y P-02, ubicadas en zonas con mayor densidad de puestos comerciales y flujo vehicular, registraron las mayores concentraciones. Según las direcciones del viento, los sectores este y sureste son las áreas más expuestas al arrastre de partículas, lo que afecta directamente a viviendas, comerciantes y peatones ubicados en la dirección de dispersión. Este patrón sugiere que los habitantes y trabajadores en las zonas hacia donde se dirige el viento principalmente hacia las zonas residenciales y vías colindantes están más vulnerables a los efectos nocivos del material particulado.

1.22 PRUEBA DE HIPÓTESIS

Para mi presente investigación titulada: Evaluación de los factores meteorológicos en la concentración de partículas menores a 10 micrómetros en el mercado mayorista de Puelles, Huánuco – 2025, se logró evaluar cómo los factores meteorológicos influyen en la variación de la concentración de PM_{10} en dicho entorno comercial. El estudio consideró parámetros como temperatura, velocidad y dirección del viento, y precipitación, en distintas horas del día y durante cuatro días de monitoreo. Los resultados obtenidos fueron comparados con los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire, permitiendo identificar los momentos y condiciones en los que las concentraciones de partículas superan los límites normativos, y determinar su relación con la dinámica atmosférica y la actividad comercial del lugar.

Para evaluar si los niveles de concentración de PM_{10} en el Mercado Mayorista de Puelles exceden los límites permisibles establecidos en la normativa ambiental vigente (D.S. N° 003-2017-MINAM), se formuló la siguiente hipótesis:

(H_0): Los niveles de concentración de PM_{10} no superan los límites permitidos por la norma ambiental durante las horas pico en el mercado.

(H_1): Los niveles de concentración de PM_{10} superan los límites permitidos por la norma ambiental durante las horas pico en el mercado.

Tabla 16

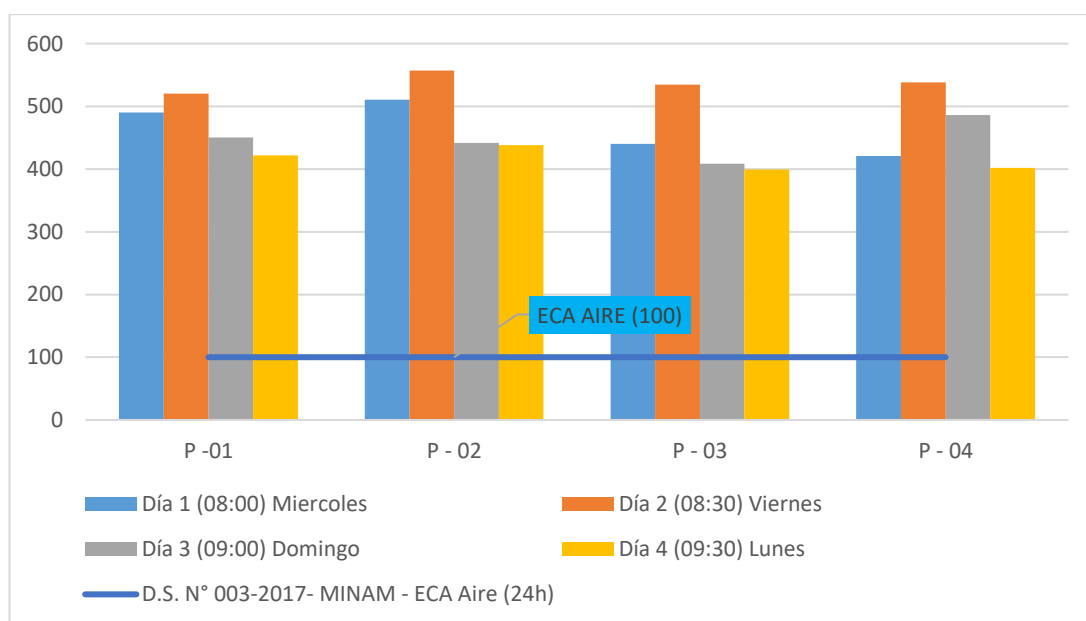
Cumplimiento del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para PM_{10} en estaciones de monitoreo del Mercado Mayorista de Puelles, según el D.S. N.º 003-2017-MINAM

Estación	Día 1 (08:00) Miércoles	Cumplimiento	Día 2 (08:30) Viernes	Cumplimiento	Día 3 (09:00) Domingo	Cumplimiento	Día 4 (09:30) Lunes	Cumplimiento	D.S. N° 003-2017-MINAM - ECA Aire (24h)
P - 01	490.23	NO CUMPLE	520.43	NO CUMPLE	450.32	NO CUMPLE	421.54	NO CUMPLE	100
P - 02	510.45	NO CUMPLE	556.78	NO CUMPLE	441.76	NO CUMPLE	437.98	NO CUMPLE	100
P - 03	440.34	NO CUMPLE	534.67	NO CUMPLE	408.39	NO CUMPLE	399.45	NO CUMPLE	100
P - 04	420.91	NO CUMPLE	538.09	NO CUMPLE	485.87	NO CUMPLE	402.06	NO CUMPLE	100

Nota: Los valores registrados de concentración de PM_{10} (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) fueron comparados con el límite máximo permisible establecido por la normativa nacional ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 24 h, según el D.S. N.º 003-2017-MINAM). En todos los puntos y días monitoreados se evidenció un incumplimiento de los estándares de calidad del aire.

Figura 20

Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para PM_{10} en estaciones del Mercado Mayorista de Puelles durante cuatro días de monitoreo



Nota: El gráfico representa el nivel de concentración de PM_{10} en cada estación de monitoreo por día, comparado con el límite establecido por el D.S. N.º 003-2017-MINAM ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 24 h). Se evidencia que todas las estaciones superaron el valor permitido en cada jornada.

Los resultados mostraron que, en todos los puntos y jornadas evaluadas, los niveles de concentración de PM_{10} superaron el valor límite de $100 \mu g/m^3$ (24 h) establecido por el D.S. N. ° 003-2017-MINAM. Las concentraciones fluctuaron entre $399.45 \mu g/m^3$ y $556.78 \mu g/m^3$, evidenciando un exceso significativo respecto al estándar normativo. Los resultados permiten aceptar la hipótesis alternativa (H_1) y rechazar la hipótesis nula (H_0), concluyéndose que los niveles de PM_{10} en el Mercado Mayorista de Puelles superan significativamente los límites normativos durante los horarios de mayor actividad comercial.

Para contrastar la hipótesis específica 2, se analizaron los datos correspondientes a la concentración de PM_{10} en el Mercado Mayorista de Puelles durante el año 2025, considerando simultáneamente las variables meteorológicas, la intensidad del tráfico vehicular y la actividad comercial en la zona. El objetivo fue determinar si estos factores influyen significativamente en la variabilidad de los niveles de PM_{10} , permitiendo así identificar las principales fuentes y condiciones que afectan la calidad del aire en este espacio comercial. La aceptación o rechazo de la hipótesis permitirá establecer la relación entre los factores estudiados y la concentración de partículas contaminantes en el ambiente, contribuyendo a la formulación de estrategias de mitigación adecuadas.

Tabla 17

Relación entre concentración de PM_{10} y factores asociados a la actividad comercial, carga vehicular y presencia de edificaciones

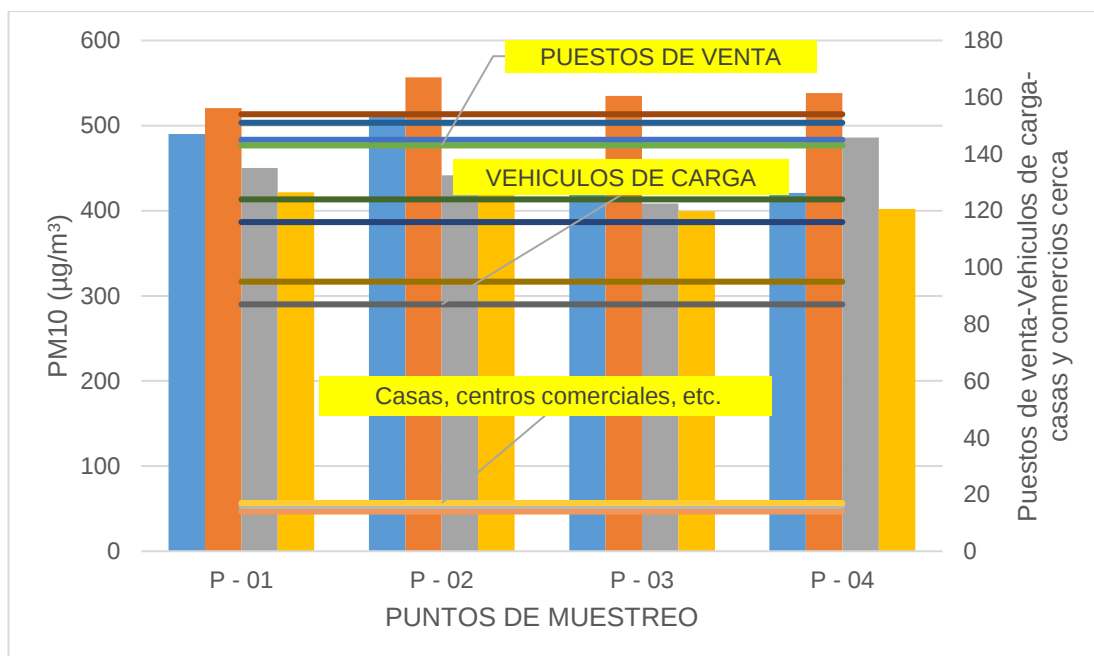
Estación	PM 10				Puestos de venta				Vehículos de carga				Casas, centros comerciales, etc.			
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4
P - 01	490.23	520.43	450.32	421.54												
P - 02	510.45	556.78	441.76	437.98	145	143	151	154	87	95	116	124	15	14	16	17
P - 03	440.34	534.67	408.39	399.45												
P - 04	420.91	538.09	485.87	402.06												

Nota: La tabla muestra los valores diarios de concentración de PM_{10} registrados en las estaciones de monitoreo junto con los datos asociados a tres factores potencialmente influyentes: número de puestos de venta, cantidad de vehículos de carga y edificaciones

cercanas (casas y centros comerciales). Aunque estos factores fueron cuantificados solo para la estación P-01, permiten establecer relaciones preliminares sobre la posible influencia de la actividad económica, logística y urbanística en los niveles de contaminación del aire.

Figura 21

Comparación diaria de PM_{10} con la actividad comercial, vehicular y urbana en las estaciones de monitoreo



Nota: El gráfico compara la evolución de la concentración de PM_{10} con la cantidad de puestos de venta, vehículos de carga y edificaciones presentes alrededor de las estaciones. Dado que estos factores se mantuvieron comunes para todos los puntos, se analizaron de manera conjunta con los valores promedio de PM_{10} , observando tendencias y posibles correlaciones con la variabilidad de los contaminantes en el aire.

Tabla 18

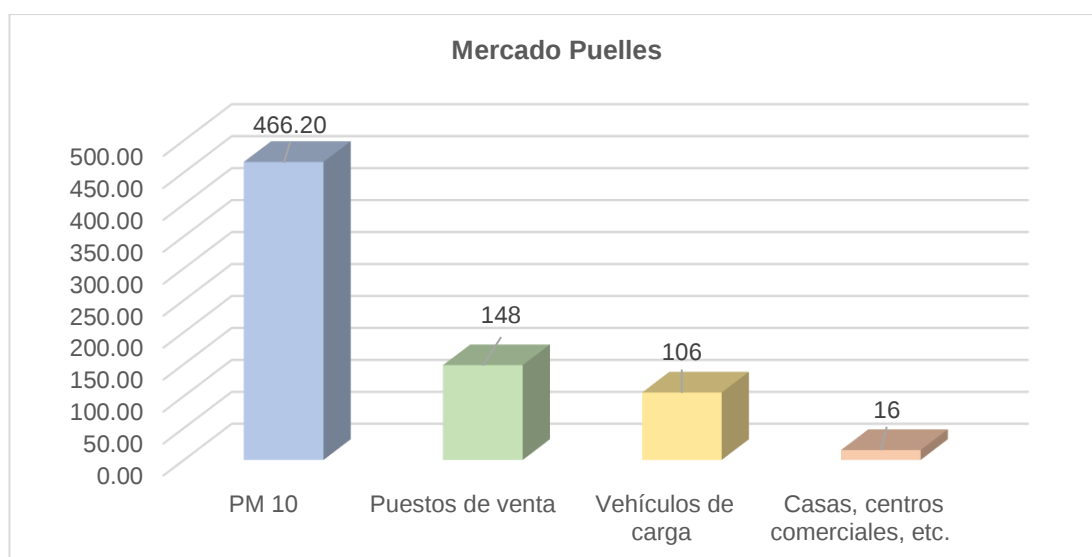
Relación entre la concentración de PM_{10} y las actividades en el mercado mayorista de Puelles

Días	PM 10	Puestos de venta	Vehículos de carga	Casas, centros comerciales, etc.
Mercado Puelles	466.20	148	106	16

Nota. La tabla presenta el promedio de los valores de concentración de PM_{10} junto al número de puestos de venta, vehículos de carga y edificaciones cercanas, evidenciando posibles relaciones entre la actividad comercial y los niveles de contaminación del aire.

Figura 22

Comparación de la concentración diaria de PM_{10} con los puestos de venta, vehículos y casas



Nota. El gráfico ilustra cómo la variación en el promedio de número de puestos, vehículos y edificaciones podría influir en la concentración de PM_{10} , destacando el impacto de las actividades humanas en la calidad del aire.

Tabla 19

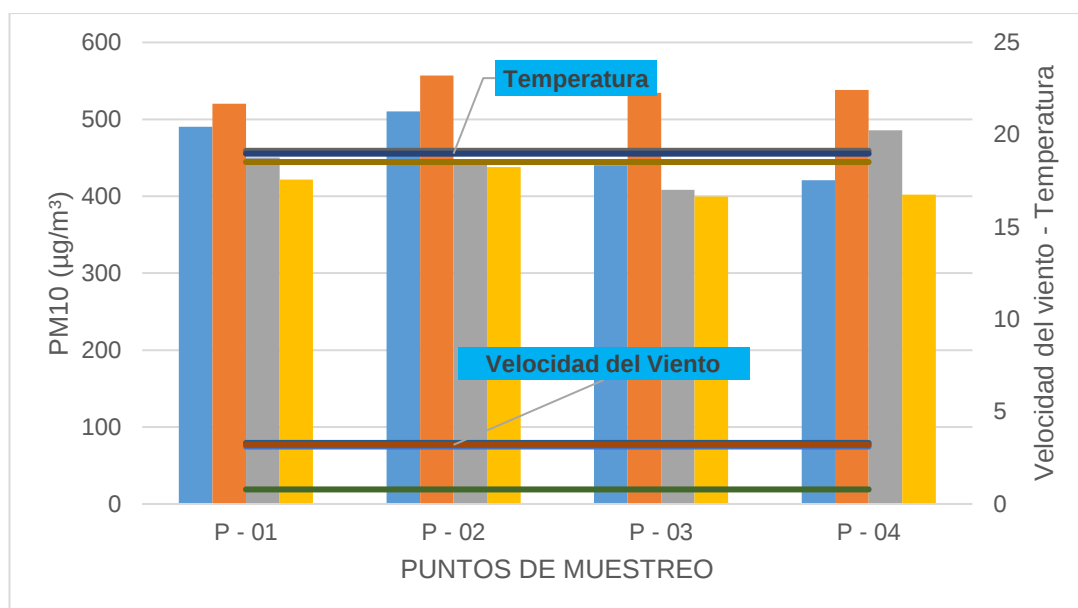
Relación entre los niveles de concentración de PM_{10} , la velocidad del viento y la temperatura

Estación	PM 10				Velocidad del Viento				Temperatura			
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4
P - 01	490.23	520.43	450.32	421.54								
P - 02	510.45	556.78	441.76	437.98	3.11	3.27	3.31	3.20	19.1	18.5	18.9	18.8
P - 03	440.34	534.67	408.39	399.45					3	2	8	9
P - 04	420.91	538.09	485.87	402.06								

Nota: Los valores muestran la concentración de PM_{10} (en $\mu g/m^3$), velocidad del viento (km/h) y temperatura ($^{\circ}C$) registrados diariamente en las estaciones de monitoreo. Estos parámetros meteorológicos permiten observar la posible influencia de las condiciones atmosféricas en la dispersión o acumulación del material particulado en el entorno del mercado.

Figura 23

Variación de la concentración de PM_{10} en relación con la velocidad del viento y la temperatura por estación y día en el Mercado Mayorista de Puelles



Nota: El gráfico combina barras para representar los niveles de PM_{10} y líneas para mostrar la velocidad del viento y la temperatura. Se observa que, aunque en algunos casos mayores velocidades del viento pueden coincidir con menores concentraciones de PM_{10} , esta relación no es constante, lo que sugiere la influencia de múltiples factores atmosféricos y antrópicos sobre la calidad del aire.

Tabla 20

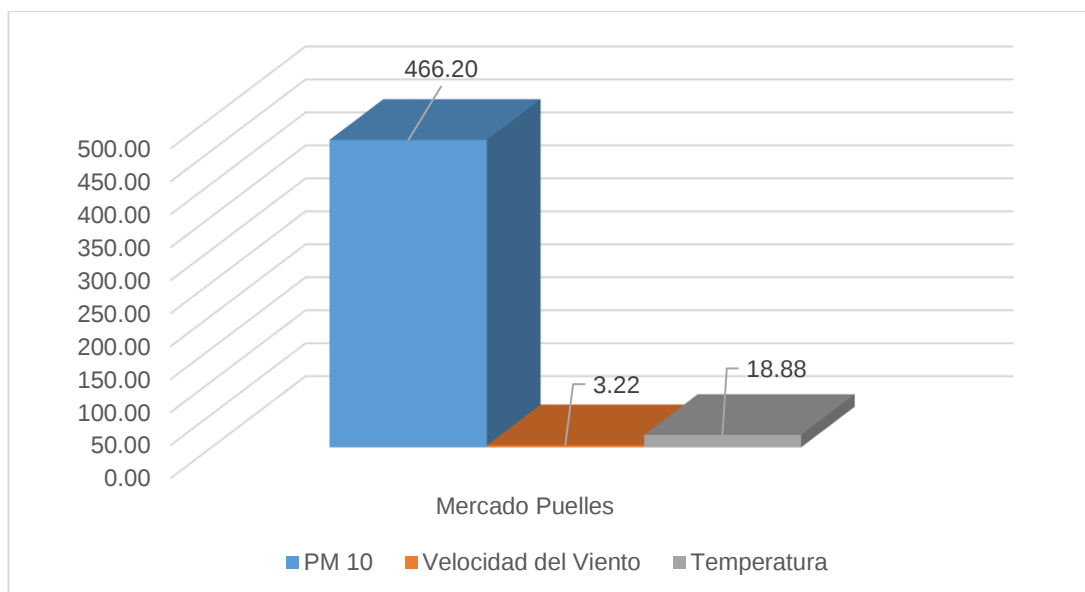
PM_{10} y condiciones meteorológicas

Días	PM 10	Velocidad del Viento	Temperatura
Mercado Puelles	466.20	3.22	18.88

Nota. Se presentan los valores promedios de concentración de PM_{10} junto con la velocidad del viento y la temperatura, registrados durante cuatro días consecutivos en el mercado mayorista de Puelles.

Figura 24

Relación entre PM_{10} , viento y temperatura



Nota. El gráfico muestra cómo varía la concentración de PM_{10} en función de las condiciones meteorológicas diarias, lo que permite analizar su posible influencia sobre la calidad del aire.

En los resultados obtenidos se observaron fluctuaciones en las concentraciones de PM_{10} que no siempre respondieron proporcionalmente al aumento de fuentes antrópicas como vehículos de carga o puestos de venta. En la estación P-01, aunque los días 3 y 4 presentaron un incremento en la actividad comercial (de 151 a 154 puestos) y en el tránsito de vehículos pesados (de 116 a 124), los valores de PM_{10} disminuyeron (de 450.32 a 421.54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Esta tendencia indica que factores meteorológicos, especialmente la velocidad del viento (3.31 a 3.20 m/s) y la temperatura (18.98 a 18.89°C), jugaron un papel clave en la dispersión y concentración de partículas en el aire.

1.22.1 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS GENERAL

Para contrastar la hipótesis planteada, se analizaron los datos registrados en las estaciones de monitoreo en relación con los factores meteorológicos (temperatura, velocidad y dirección del viento) y las variables antrópicas (cantidad diaria de vehículos de carga, puestos de venta y edificaciones cercanas). Dado que se trató de variables cuantitativas, el análisis se desarrolló siguiendo una secuencia metodológica rigurosa: en primer lugar, se elaboraron diagramas de dispersión para visualizar el comportamiento y la posible relación entre cada variable independiente y la

concentración de PM_{10} . Posteriormente, se aplicaron pruebas de correlación de Pearson, debido a que algunas relaciones mostraron un patrón lineal y los datos cumplieron con los supuestos necesarios.

Tabla 21

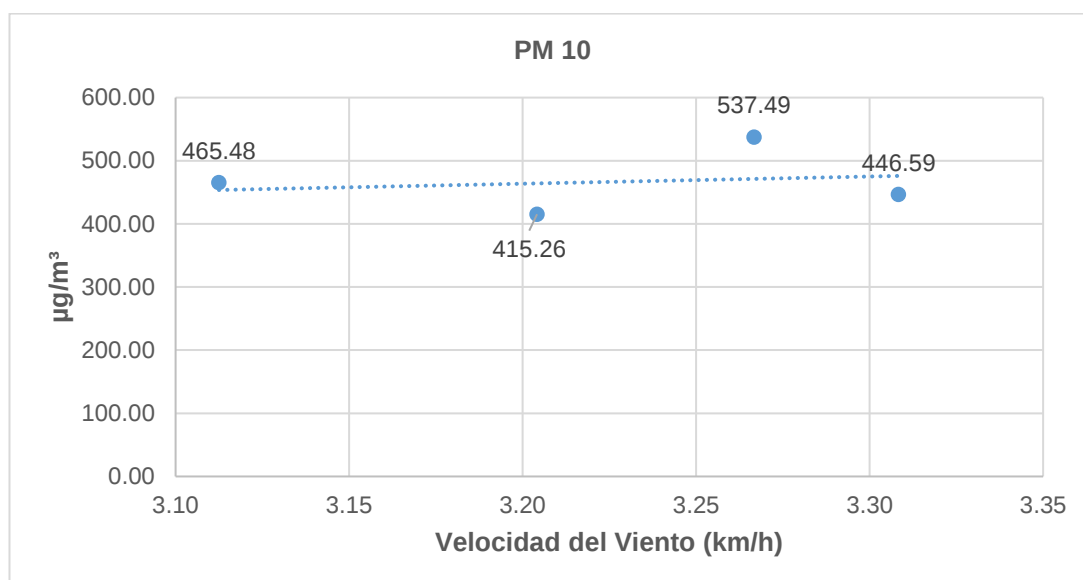
PM_{10} y variables meteorológicas y actividades en el mercado de Puellas

Días	PM 10	Velocidad del Viento	Temperatura	Puestos de venta	Vehículos de carga	Casas, centros comerciales, etc.
Día 1	465.48	3.11	19.13	145	87	15
Día 2	537.49	3.27	18.52	143	95	14
Día 3	446.59	3.31	18.98	151	116	16
Día 4	415.26	3.20	18.89	154	124	17

Nota. La tabla muestra el resumen diario de concentración de PM_{10} junto a factores meteorológicos y actividades, para evaluar su posible relación con la calidad del aire.

Figura 25

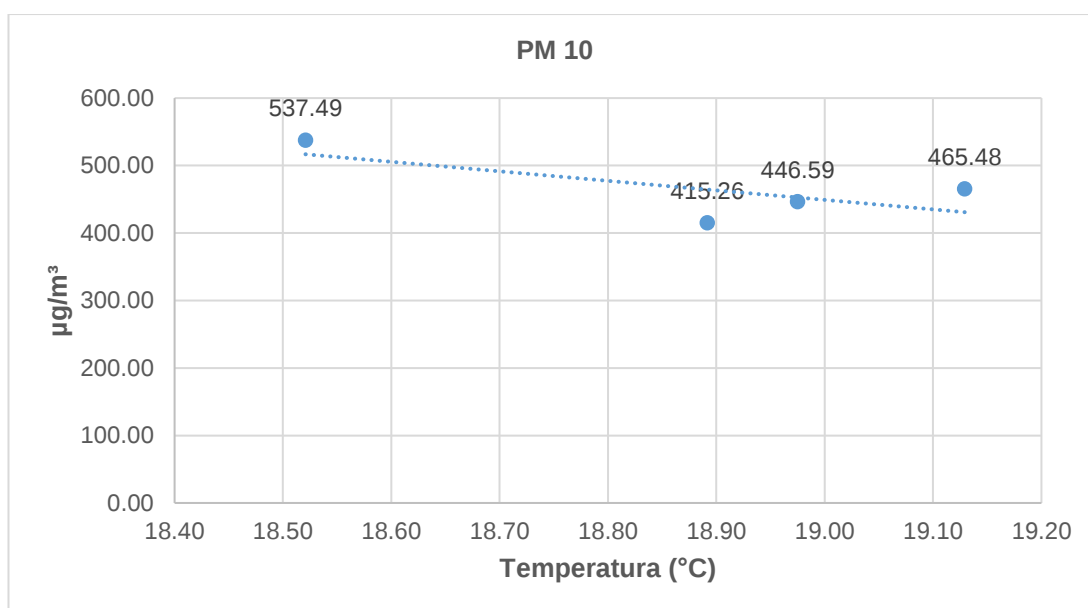
Dispersión entre velocidad del viento y PM_{10}



Nota. El gráfico muestra cómo varía la concentración de PM_{10} en función de la velocidad del viento durante cuatro días de monitoreo.

Figura 26

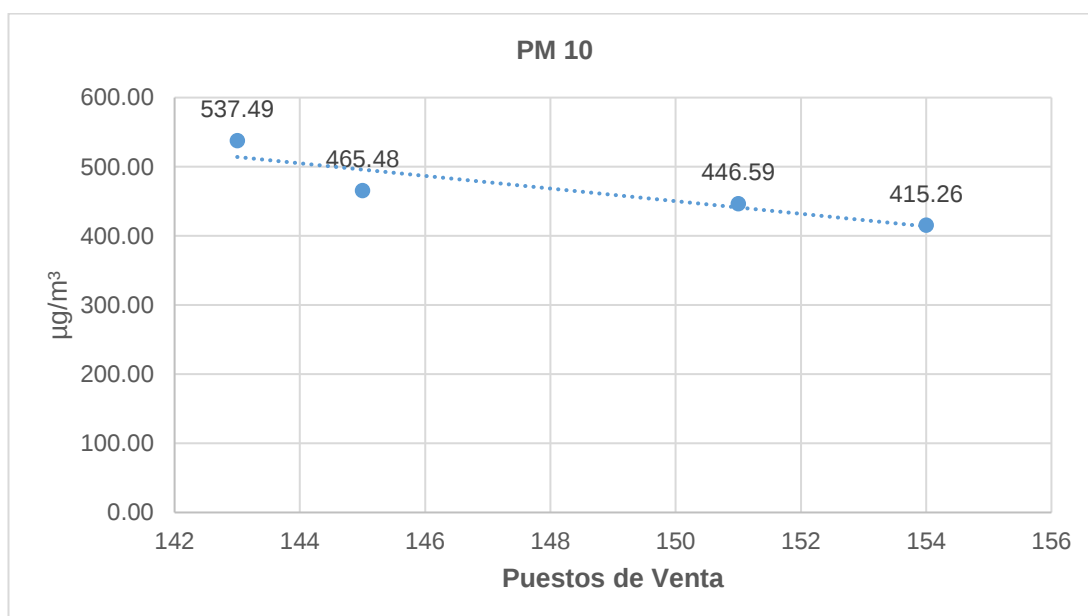
Dispersión entre temperatura y PM_{10}



Nota. El gráfico muestra la relación entre la temperatura ambiente y la concentración de PM_{10} en cuatro días de registro.

Figura 27

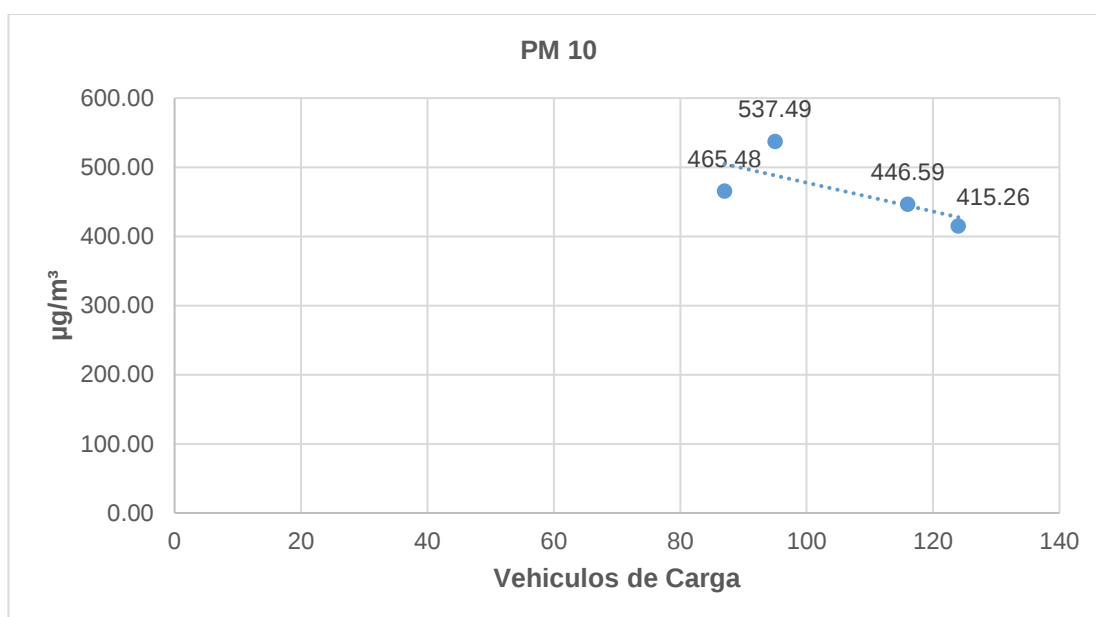
Dispersión entre puestos de venta y PM_{10}



Nota. El gráfico analiza cómo varía la concentración de PM_{10} en relación con el número de puestos de venta registrados diariamente.

Figura 28

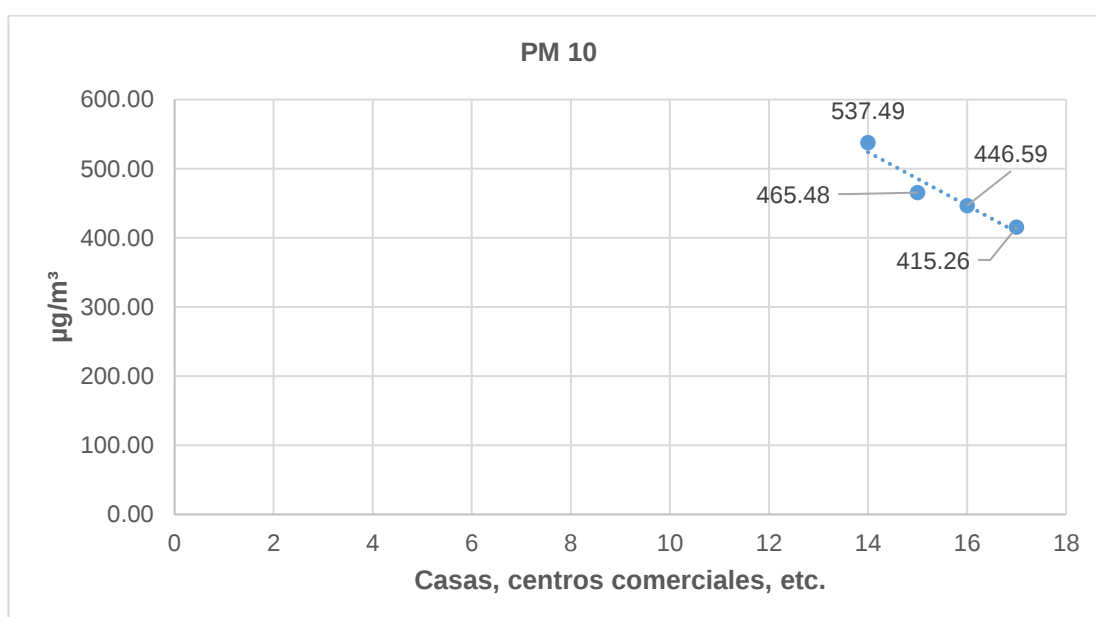
Dispersión entre vehículos de carga y PM_{10}



Nota. El gráfico muestra la relación entre la cantidad de vehículos de carga y la concentración de PM_{10} , evaluando su posible influencia en la calidad del aire.

Figura 29

Dispersión entre edificaciones y PM_{10}



Nota. El gráfico evalúa la relación entre la cantidad de edificaciones cercanas y los niveles de PM_{10} registrados durante cuatro días de monitoreo.

Tabla 22

Matriz de correlación de Pearson entre estaciones de muestreo de PM_{10} y variables meteorológicas en el mercado mayorista de Puelles

		Correlaciones		
		Promedio de las 4 estaciones	Velocidad del Viento	Temperatura
Promedio de las 4 estaciones	Correlación de Pearson	1	0.212	-0.701
Velocidad del Viento	Correlación de Pearson	0.212	1	-0.537
	Sig. (bilateral)	0.788	-	0.463
Temperatura	Correlación de Pearson	-0.701	-0.537	1
	Sig. (bilateral)	0.299	0.463	-

Nota. *. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

La tabla presenta los coeficientes de correlación de Pearson entre el promedio de las concentraciones de PM_{10} de las cuatro estaciones de monitoreo y las variables meteorológicas registradas (velocidad del viento y temperatura). Se observa una correlación positiva muy débil entre la concentración de PM_{10} y la velocidad del viento ($r = 0.212$), y una correlación negativa moderada con la temperatura ($r = -0.701$). Sin embargo, ninguno de estos valores resulta estadísticamente significativo ($p > 0.05$), lo que indica que, bajo las condiciones del presente estudio, no se evidenció una relación lineal significativa entre las variables meteorológicas y los niveles promedio de PM_{10} registrados durante los cuatro días de evaluación.

Tabla 23

Matriz de correlación de Pearson entre el promedio de PM_{10} y variables antrópicas en el mercado mayorista de Puelles

		Correlaciones			
		Promedio de las 4 estaciones	Puesto de Venta	Vehículos de Carga	Casas, Centros Comerciales
Promedio de las 4 estaciones	Correlación de Pearson	1	-0.902	-0.697	-,960*
	Sig. (bilateral)	-	0.098	0.303	0.040
Puesto de Venta	Correlación de Pearson	-0.902	1	0.938	,983*
	Sig. (bilateral)	0.098	-	0.062	0.017
Vehículos de Carga	Correlación de Pearson	-0.697	0.938	1	0.862
	Sig. (bilateral)	0.303	0.062	-	0.138
Casas, Centros Comerciales	Correlación de Pearson	-,960*	,983*	0.862	1
	Sig. (bilateral)	0.040	0.017	0.138	-

Nota. *. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

La tabla muestra los coeficientes de correlación de Pearson entre el promedio de concentración de PM_{10} de las cuatro estaciones de monitoreo y las variables antrópicas evaluadas: cantidad de puestos de venta, vehículos de carga y edificaciones cercanas (casas y centros comerciales). Se identificó una correlación negativa fuerte y significativa entre el promedio de PM_{10} y el número de edificaciones cercanas ($r = -0.960$; $p = 0.040$), lo que sugiere que en áreas con mayor densidad de edificaciones, los niveles de PM_{10} tienden a ser menores. También se observaron correlaciones negativas fuertes con la cantidad de puestos de venta ($r = -0.902$) y vehículos de carga ($r = -0.697$), aunque estas no alcanzaron significancia estadística ($p > 0.05$). Asimismo, se registró una correlación positiva significativa entre el número de puestos de venta y las edificaciones cercanas ($r = 0.983$; $p = 0.017$), indicando que ambas variables tienden a aumentar conjuntamente.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En mi presente investigación titulada Evaluación de los factores meteorológicos en la concentración de partículas menores a 10 micrómetros en el mercado mayorista de Puelles, Huánuco – 2025, se logró determinar la influencia significativa que ejercen tanto las condiciones ambientales como las actividades antrópicas en la variabilidad de la concentración de PM_{10} . Los resultados obtenidos reflejan diferencias notables en los niveles de partículas en suspensión según la ubicación de los puntos de muestreo, vinculadas con factores como la dirección y velocidad del viento, la precipitación, la temperatura, así como con la intensidad del tráfico vehicular y la actividad comercial. Esta evaluación permitió identificar las zonas con mayor concentración de PM_{10} y confirmar la interacción entre los factores meteorológicos y las fuentes emisoras en el contexto específico del mercado mayorista.

Andrade (2020) encontró una relación débil entre las concentraciones de PM_{10} y los factores meteorológicos en centros educativos de Cuenca, Ecuador, aunque los niveles de partículas superaron los límites establecidos por la OMS y la normativa nacional. De manera similar, en el Mercado Mayorista de Puelles se observaron concentraciones elevadas de PM_{10} , alcanzando hasta $556.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$, muy por encima del límite permisible de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ según el D.S. N° 003-2017-MINAM. La velocidad moderada del viento, junto con la alta actividad comercial y el intenso tránsito de vehículos de carga, contribuyen a la acumulación de partículas en suspensión. Por tanto, estos resultados confirman que tanto los factores meteorológicos como las actividades antrópicas inciden significativamente en la variabilidad y concentración de PM_{10} en esta zona comercial.

Baldeón (2021) reportó que la calidad del aire en Cullpa Baja, debido a PM_{10} generado por la fabricación artesanal de ladrillos, fue deficiente, con concentraciones promedio de $199.44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que superan el estándar ambiental. Sin embargo, no encontró una relación directa significativa entre los factores meteorológicos (temperatura, velocidad del viento y humedad) y

la calidad del aire. En contraste, en el Mercado Mayorista de Puelles, Huánuco, se observaron concentraciones aún más elevadas de PM_{10} , llegando hasta $556.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A diferencia del estudio de Baldeón, aquí sí se evidencia que la velocidad del viento y la actividad antrópica, como el tráfico y la actividad comercial, influyen en la variabilidad de PM_{10} , lo que resalta la complejidad del comportamiento del material particulado en diferentes contextos.

Barzola (2020) evidenció una alta variabilidad en las concentraciones de PM_{10} en el distrito de Ate, Lima, con picos anuales que superaron ampliamente los límites permitidos por la normativa nacional, destacando la influencia de factores meteorológicos en dicha variabilidad. De manera similar, en el Mercado Mayorista de Puelles se observaron concentraciones elevadas de PM_{10} , con valores máximos superiores a $550 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que exceden significativamente el límite establecido por el D.S. N° 003-2017-MINAM. Los datos obtenidos en Puelles confirman que tanto la actividad humana como las condiciones meteorológicas, especialmente la velocidad del viento moderada, contribuyen a la acumulación y dispersión limitada de partículas, reafirmando la compleja interacción que determina la calidad del aire en zonas urbanas y comerciales.

Elder (2022) encontró que tanto las partículas PM_{10} como los parámetros meteorológicos, especialmente la velocidad del viento, afectan significativamente la calidad del aire y la salud en la Villa de Cayhuayna, Huánuco. Su estudio evidenció una correlación entre las concentraciones de PM_{10} , la velocidad del viento y el aumento de consultas por infecciones respiratorias agudas, resaltando el impacto sanitario de la contaminación ambiental. De manera concordante, en el Mercado Mayorista de Puelles se registraron niveles elevados de PM_{10} que superaron ampliamente los límites permisibles, con una velocidad del viento moderada que contribuye a la dispersión limitada de partículas. Estos hallazgos confirman la importancia de considerar tanto factores meteorológicos como antrópicos para entender la dinámica y el impacto del PM_{10} en zonas urbanas y comerciales de Huánuco.

Tello (2021) evaluó las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ durante la ejecución de un proyecto vial en Huánuco, encontrando que la mayoría de las estaciones no superaron los Estándares de Calidad Ambiental, excepto en algunos tramos específicos donde sí se registraron valores elevados. Esto sugiere que la contaminación por material particulado puede ser localizada y depender del tipo de actividad en la zona. En contraste, en el Mercado Mayorista de Puelles se observaron concentraciones consistentemente altas de PM_{10} , con valores máximos que superaron ampliamente el límite nacional de $100 \mu g/m^3$. Estos resultados evidencian que, mientras ciertas actividades pueden mantener niveles controlados de contaminación, otras, como las vinculadas a intensa actividad comercial y vehicular, generan una mayor contaminación atmosférica que requiere atención y medidas específicas.

CONCLUSIONES

En el Mercado Mayorista de Puelles, Huánuco, se identificó una concentración significativa de partículas PM_{10} que supera ampliamente el límite permitido por el D.S. N° 003-2017-MINAM ($100 \mu g/m^3$), alcanzando valores máximos superiores a $550 \mu g/m^3$ en varias estaciones de muestreo.

Los factores meteorológicos, principalmente la velocidad y dirección del viento, junto con la temperatura, influyen en la dispersión y acumulación de partículas en el área estudiada, contribuyendo a la variabilidad temporal de la concentración de PM_{10} .

La actividad antrópica, representada por la alta densidad de puestos de venta y el tránsito constante de vehículos de carga, es una fuente significativa de emisión de material particulado en el mercado, intensificando la contaminación ambiental local.

La interacción entre factores meteorológicos y actividades humanas determina la calidad del aire en el mercado, evidenciando la necesidad de un enfoque integrado para su monitoreo y control.

RECOMENDACIONES

Implementar un programa de monitoreo continuo de la calidad del aire en el Mercado Mayorista de Puelles para detectar oportunamente incrementos en los niveles de PM_{10} y evaluar la efectividad de las medidas de control.

Regular y controlar el tránsito vehicular dentro y en las inmediaciones del mercado, priorizando el uso de vehículos con tecnologías menos contaminantes y estableciendo horarios restringidos para vehículos de carga pesada.

Fomentar campañas de sensibilización y capacitación dirigidas a comerciantes y usuarios del mercado sobre la importancia de reducir emisiones y mantener espacios limpios para mejorar la calidad del aire.

Promover la adopción de medidas técnicas, como barreras vegetales o sistemas de supresión de polvo, que ayuden a disminuir la dispersión de partículas en las zonas más afectadas.

Coordinar con autoridades municipales y regionales para diseñar políticas integradas que consideren los factores meteorológicos y las actividades económicas, orientadas a la mejora ambiental y la salud pública.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, C. (2021). *Contaminación del aire por partículas sedimentables en domicilios en la zona urbana de la Provincia de Leoncio Prado, Departamento de Huánuco*. Obtenido de Artículo Científico, Revista Pakamuros: <https://doi.org/10.37787/pakamuros-unj.v9i4.236>
- Alembert, D. y. (2021). *Aire*. Obtenido de Enciclopedia Humanidades: <https://humanidades.com/aire/>
- Álvarez, D. O. (2018). *Nitrógeno*. Obtenido de Enciclopedia Humanidades: <https://humanidades.com/nitrogeno/#:~:text=Propiedades%20f%C3%ADscas%20del%20nitr%C3%B3geno,es%20%2D195%2C79%20%C2%BAC.>
- Andrade, S. (2020). *Análisis espacial de PM10 en el aire y su composición de metales con relación a factores ambientales alrededor de centros de educación preescolar en Cuenca*. Obtenido de Artículo científico, Universidad del Azuay: <https://doi.org/10.18537/mskn.11.01.06>
- Baldeón, E. H. (2021). *Factores meteorológicos y su relación con la calidad del aire producido por PM 10 generado en la fabricación de ladrillo artesanal en Cullpa Baja, 2017*. Obtenido de [Tesis de Titulación, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/9782>
- Barros, J. G. (2022). *Elementos y factores del clima. Tipos de climas*. Obtenido de Meteorología y climatología de Navarra: <https://meteo.navarra.es/definiciones/elementosFactores.cfm>
- Barzola, A. H. (2020). *Análisis de las concentraciones del PM10 en su interacción con los factores meteorológicos en el distrito de Ate – provincia de Lima, durante los años 2014 al 2018*. Obtenido de [Tesis de Titulación, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio de la UNDAC: <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2115>
- Berners-Lee, T. (2023). *Aire*. Obtenido de Concepto: <https://concepto.de/aire/>

- Bustamante, F. M. (2021). *La contaminación ha dejado más de 5,000 muertes en Lima. Perú21*. Obtenido de Consorcio de Investigación Económica y Social: <https://peru21.pe/lima/contaminacion-dejado-5-000-muertes-lima-136000-noticia>
- Campos, F. (2023). *Contaminación del aire: causas y tipos*. Obtenido de Aquae Fundación: <https://acortar.link/FcdbJL>
- Caraballo, D. A. (2022). *Evaluación de la calidad del aire por material particulado pm10 en una zona del barrio ciudad salitre en la localidad de Fontibón (upz110)*. Obtenido de [Tesis de titulación, Bogotá D.C Universidad Libre]. Repositorio de la Universidad Libre: <https://hdl.handle.net/10901/23665>
- Chapman, M. &. (2023). *Partículas en suspensión (PM)*. Obtenido de GreenFacts: <https://acortar.link/K3hH3>
- Contreras, J. F. (2023). *Evaluación de la calidad del aire respecto al parámetro material particulado menores a 10 micrómetros en el contexto de la COVID-19 en la ciudad de Puno*. Obtenido de [Tesis de titulación, Universidad Privada San Carlos]. Repositorio UPSC: https://repositorio.upsc.edu.pe/bitstream/handle/UPSC/535/Jhunior_FLORES_CONTRERAS.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Contreras, O. C. (2023). *Contaminación en el aire de ciudades peruanas supera los límites de la OMS*. Obtenido de OjoPublico: <https://ojo-publico.com/derechos-humanos/salud/contaminacion-el-aire-ciudades-peruanas-supera-limites-la-oms>
- Cortés, H. (2022). *Técnicas de Medición*. Obtenido de Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT: http://rama.edomex.gob.mx/tecnicas_medicion
- Criollo, A. F. (2022). *El aire: elemento de vida en la Tierra*. Obtenido de Gobierno de Mexico: <https://acortar.link/iloEKK>
- Cruz, J. (2020). *Contaminación ambiental y cáncer de pulmón: el poder carcinogénico del aire que respiramos*. Obtenido de Archivos de Bronconeumología: <https://doi.org/10.1016/j.arbres.2020.05.023>

- Díaz Carrasco, K., & Pérez Quispe, A. (2022). *Evaluación de la influencia del tránsito vehicular y las variables meteorológicas en la concentración del pm10 y pm1.0 en el distrito de comas*. Obtenido de [Tesis de Titulación, Universidad Científica del Sur]. Repositorio de la UCS: <https://hdl.handle.net/20.500.12805/2225>
- Díaz Suárez, V., & Páez Pérez, C. (2021). *Contaminación por material particulado en Quito y caracterización química de las muestras*. Obtenido de Artículo Científico: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892006000100011
- Díaz, F. B. (2022). *Concentración de PM 10 y PM 2.5 y los problemas respiratorios en los pobladores durante la construcción de la carretera Huánuco-La Unión, Huánuco 2021*. Obtenido de [Tesis de titulación, Universidad de Huánuco]. Repositorio de la UDH: <http://repositorio.udh.edu.pe/123456789/3553>
- Elder, C. S. (2022). *Impacto de las partículas pm10 Y parámetros meteorológicos en la calidad del aire Y salud en la villa de Cayhuayna, Huánuco*. Obtenido de [Tesis de titulación, Universidad Nacional Federico Villareal]. Repositorio de la UNFV: <https://hdl.handle.net/20.500.13084/6237>
- F Gilles, M. (2024). *Qué es el Índice de calidad del aire (ICA) y cómo se calcula*. Obtenido de Eurofins Enviroment Testing Spain : <https://acortar.link/KN34BT>
- Fernández, G. M. (2018). *Espectrometría*. Obtenido de Argentina.bog.ar: <https://acortar.link/cZ6BLy>
- Frank, o. P. (2020). *Contaminación del aire ambiental exterior y en la vivienda: Preguntas frecuentes*. Obtenido de Organización Paamericana de la Salud: <https://acortar.link/SOIws2>
- Fred, S. (2021). *Calidad del aire*. Obtenido de Organización Panamericana de la Salud: <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>

- García, D. P. (2021). *Influencia de factores meteorológicos sobre la incidencia de los incendios forestales y el transporte de las emisiones hacia las ciudades andinas*. Obtenido de [Tesis de Titulación, Universidad de los Andes]. Repositorio de los andes.: <http://hdl.handle.net/1992/53006>
- Gilles, M. (2024). *Qué son las partículas PM10 y cómo se generan en la atmósfera*. Obtenido de Eurofins Enviroment Testing Spain: <https://www.eurofins-environment.es/es/particulas-pm10-y-como-se-generan/>
- Herrera, J. M. (2020). *Presión*. Obtenido de Centro nacional de Metologia: <https://www.cenam.mx/FYP/Presion/Pre1.aspx#:~:text=Presi%C3%B3n%3A,aplicada%20sobre%20el%20%C3%A1rea%20correspondiente.>
- Lopera, J. M. (2021). *La atmósfera*. Obtenido de Tomi.digital: https://tomi.digital/es/es/40909/la-atmosfera?utm_source=google&utm_medium=seo
- Manuel, H. J. (2021). *El aire: elemento de vida en la Tierra*. Obtenido de Gobierno de Mexico: <https://acortar.link/DFxqQS>
- Martin, G. (2024). *Qué son las partículas PM10 y cómo se generan en la atmósfera*. Obtenido de Eurofins Enviroment Testing Spain: <https://www.eurofins-environment.es/es/particulas-pm10-y-como-se-generan/>
- Martínez, J. E. (2023). *Aire: qué es, composición, funciones, propiedades y contaminación*. Obtenido de Ecologia Verde: <https://acortar.link/Ni4b6k>
- MINAM, M. d. (2005). *Ley General del Ambiente*. Obtenido de Ministerio del Ambiente: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/06/ley-general-del-ambiente.pdf>
- Nixon, R. (2024). *Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medioambiente*. Obtenido de Agencia de protección Ambiental de Estados Unidos: <https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-del-material-particulado-pm-sobre-la-salud-y-el-medioambiente>

- OMS, O. M. (2021). *Guías mundiales sobre la calidad del aire 2021: partículas en suspensión ($PM_{2.5}$ y PM_{10})*. Obtenido de Organización Mundial de la Salud: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/346062/9789240035461-spa.pdf>
- OMS, O. M. (2024). *Contaminación del aire ambiente (exterior) y salud*. Obtenido de Oficinas regionales de la OMS: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Prieto, G. E. (2019). *Ozono Troposférico*. Obtenido de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/ozono-troposferico#:~:text=El%20ozono%20troposf%C3%A9rico%20no%20es,principales%20ingredientes%20del%20smog%20urbano.>
- Retiz, A. S. (2021). *Evaluación de la concentración de dióxido de carbono (CO_2) en el aire generada por el parque automotor en el cruce del jirón dos de mayo y libertad en la ciudad de Huánuco-2020*. Obtenido de [Tesis de Titulación, Univeersidad de Huánuco]. Repositorio de la UDH: <http://repositorio.udh.edu.pe/123456789/2936>
- Rosas, J. F. (2024). *Mercado Mayoristas de Puelles*. Obtenido de DelPEerú.com: https://www.deperu.com/mercados/mercado-mayoristas-de-puelles_chinchao_645.html?utm_source=chatgpt.com
- Sánchez, P. (2023). *Partículas PM_{10}* . Obtenido de PRTR España: <https://prtr-es.es/particulas-pm10,15673,11,2007.html>
- Shah, N. D. (2024). *Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades*. Obtenido de Radiación UV: <https://www.cdc.gov/Spanish/acercaCDC/index.html>
- SINCA, S. d. (2016). *Norma Secundaria de Calidad Ambiental*. Obtenido de Ministerio de Medio Ambiente, Santiago, Chile: <https://acortar.link/iKtylR>

- Strong, M. (2021). *La contaminación del aire causó 8.1 millones de muertes en todo el mundo en 2021, convirtiéndose en el segundo factor de riesgo de muerte, incluso para niños menores de cinco años*. Obtenido de Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente: <https://acortar.link/B8si9D>
- Supo, J., & Zacarias, H. (2020). *Metodología de la Investigación Científica: Para las Ciencias de la Salud y las Ciencias Sociales (Spanish Edition)*. 3ra edición.
- Takizaki, T. (2025). *Micrómetros*. Obtenido de Keyence Corporation: <https://acortar.link/IPE3PK>
- Tello, J. B. (2021). *Material Particulado PM10, PM2.5 en la ejecución del proyecto "Mejoramiento, Conservación por Niveles de Servicio y Operación" en el tramo Quisqui - Jacas Chico del departamento de Huánuco*. Obtenido de [Tesis de Titulación, Universidad de Huánuco]. Repositorio de la UDH: <http://repositorio.udh.edu.pe/123456789/3261>
- Valldaura, G. C. (2019). *Contaminación ambiental: qué es y qué tipos existen*. Obtenido de Ayuda en Acción: <https://ayudaenaccion.org/blog/sostenibilidad/tipos-contaminacion-ambiental/>
- Vigilio, B. M. (2022). *Determinación del grado de contaminación del área afectada por el pasivo ambiental minero Quisqui, Huánuco 2020*. Obtenido de [Tesis de Titulación, Universidad de Huánuco]. Repositorio de la UDH: <http://repositorio.udh.edu.pe/123456789/3439>
- Villanueva, J. A. (2022). *Dispersión del material particulado (PM10 Y PM2, 5), con interrelación a los factores meteorológicos en el centro poblado de Champamarca, distrito de Simón Bolívar, Provincia de Pasco – 2018*. Obtenido de [Tesis de Titulación, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio de la UNDAC.: <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2513>

Yanguas, G. (2021). *CO2 (DIÓXIDO DE CARBONO)*. Obtenido de Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes: <https://prtr-es.es/co2-dioxido-de-carbono,15590,11,2007.html>

Yépez, R. C. (2019). *Partículas suspendidas PM10 y PM2.5 dañan salud y medio ambiente*. Obtenido de XXVII Verano De la Ciencia: www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

Zeldin, L. (2025). *Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medioambiente*. Obtenido de Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos: <https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-del-material-particulado-pm-sobre-la-salud-y-el-medioambiente>

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

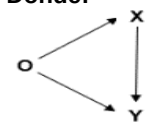
Villanueva Cajahuaman, F. (2025). *Evaluación de los factores meteorológicos en la concentración de partículas menores a 10 micrómetros en el mercado mayorista de Puelles, Huánuco – 2025* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Evaluación de los factores meteorológicos en la concentración de partículas menores a 10 micrómetros en el mercado mayorista de Puelles, Huánuco – 2025.

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA	POBLACION Y MUESTRA
¿Cuáles son los factores meteorológicos en la concentración de partículas menores a 10 micrómetros en el mercado mayorista de Puelles, Huánuco – 2025?	Evaluar los factores meteorológicos en la concentración de partículas menores a 10 micrómetros en el mercado mayorista de Puelles, Huánuco – 2025.	Ha: Se logró evaluar los factores meteorológicos en la concentración de partículas menores a 10 micrómetros en el mercado mayorista de Puelles, Huánuco – 2025.	Variable de Caracterización Factores Meteorológicos	Tipo: La investigación es de tipo no experimental. Nivel: Tipo relacional porque busca establecer asociaciones entre las variables Enfoque: La investigación tiene un enfoque cuantitativo. Diseño: La investigación tiene un diseño relacional.	Población: Para mi presente estudio en la Evaluación de la concentración de partículas menores a 10 micrómetros será el mercado mayorista de Puelles de Huánuco Muestra: Estará conformada en este caso por dos estaciones de monitoreo de aire en los interiores del mercado mayorista de Puelles - Entrada y Salida de vehículos de carga - Interiores del mercado - Puestos de venta - Estacionamiento de camiones. El monitoreo se realizará por 2 días consecutivos
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS				
¿Cuáles son los niveles de concentración de partículas menores de 10 micrómetros (PM10) en distintas áreas a lo largo del día y en diferentes condiciones climáticas en el Mercado Mayorista de Puelles, 2025?	Determinar los niveles de concentración de partículas menores de 10 micrómetros (PM10) en distintas áreas a lo largo del día y en diferentes condiciones climáticas en el Mercado Mayorista de Puelles, 2025.	Ho: No se logró evaluar los factores meteorológicos en la concentración de partículas menores a 10 micrómetros en el	Variable de Interés Concentración de partículas menores a 10 micrómetros (PM10)	Donde: 	
¿Qué factores meteorológicos contribuyen a la variabilidad de la concentración de PM10, como el tráfico vehicular, la actividad comercial y las condiciones meteorológicas en el Mercado Mayorista de Puelles, 2025?	Identificar los factores meteorológicos que contribuyen a la variabilidad de la concentración de PM10, como el tráfico vehicular, la actividad comercial y las condiciones meteorológicas			O: Observación de ambas variables X: Variable de Interés (Concentración de partículas menores a 10 micrómetros (PM10)	

en el Mercado Mayorista de mercado
Puelles, 2025. mayorista de
Puelles, Huánuco
– 2025.

¿Quiénes son los potenciales Identificar los potenciales
afectados debido a los niveles de afectados debido a los niveles de
concentración de PM10 concentración de PM10
encontrados en el Mercado encontrados en el Mercado
Mayorista de Puelles, 2025? Mayorista de Puelles, 2025.

ANEXO 3

FORMATO DE REGISTRO DE MONITOREO DE RUIDO

ANEXO 3. Formato de Registro de datos de monitoreo de ruido.



REGISTRO DE DATOS DE MONITOREO DE AIRE

TESISTA: Frey Bruce Villanueva Cajahuaman
LUGAR DE INVESTIGACIÓN: Mercado Mayanista de Puellas

DIA 1

PUNTO DE MONITOREO	CONCENTRACIÓN DE PARTICULAS	COORDENADAS GEOGRAFICAS UTM-WGS84		TIEMPO DE MONITOREO	
	µg/m³	ESTE	NORTE	60 minutos	120 minutos
AIR - 01	490.23	363619	8902279	24 Horas	
AIR - 02	510.45	363662	8903168	24 Horas	
AIR - 03	440.34	363699	8903233	24 Horas	
AIR - 04	420.91	363586	8903190	24 Horas	

ANEXO 3. Formato de Registro de datos de monitoreo de ruido.



REGISTRO DE DATOS DE MONITOREO DE AIRE

TESISTA: Frey Bruce Villanueva Cijahuaman
 LUGAR DE INVESTIGACIÓN: Mercado Mayonista de puelles

DIA 2

PUNTO DE MONITOREO	CONCENTRACIÓN DE PARTÍCULAS	COORDENADAS GEOGRAFICAS UTM-WGS84		TIEMPO DE MONITOREO	
	µg/m³	ESTE	NORTE	60 minutos	120 minutos
P-01	520.93	363619	8903279	24 Horas	
P-02	556.78	363662	8903168	24 Horas	
P-03	534.67	363699	8903233	24 Horas	
P-04	538.09	363586	8903190	24 Horas	

ANEXO 3. Formato de Registro de datos de monitoreo de ruido.



REGISTRO DE DATOS DE MONITOREO DE AIRE

TESISTA: *Frey Bruce Villanueva Cajahuasman*
 LUGAR DE INVESTIGACIÓN: *Merced Rayonista 2 Puellas* DIA 3

PUNTO DE MONITOREO	CONCENTRACIÓN DE PARTICULAS $\mu\text{g}/\text{m}^3$	COORDENADAS GEOGRAFICAS UTM-WGS84		TIEMPO DE MONITOREO	
		ESTE	NORTE	60 minutos	120 minutos
<i>P-01</i>	<i>450.32</i>	<i>363619</i>	<i>8903279</i>	<i>24 Horas</i>	
<i>P-02</i>	<i>441.76</i>	<i>363662</i>	<i>8903168</i>	<i>24 Horas</i>	
<i>P-03</i>	<i>408.39</i>	<i>363699</i>	<i>8903233</i>	<i>24 Horas</i>	
<i>P-04</i>	<i>485.87</i>	<i>363586</i>	<i>8903190</i>	<i>24 Horas</i>	

ANEXO 3. Formato de Registro de datos de monitoreo de ruido.



REGISTRO DE DATOS DE MONITOREO DE AIRE

TESISTA: *Frey Bruce Villanueva Cajahuaman*

LUGAR DE INVESTIGACIÓN: *Merced Mayorista 2 pueller DIA-4*

PUNTO DE MONITOREO	CONCENTRACIÓN DE PARTÍCULAS	COORDENADAS GEOGRAFICAS UTM-WGS84		TIEMPO DE MONITOREO	
	µg/m³	ESTE	NORTE	60 minutos	120 minutos
<i>P-01</i>	<i>421.57</i>	<i>363619</i>	<i>8903279</i>	<i>29 Horas</i>	
<i>P-02</i>	<i>437.98</i>	<i>363662</i>	<i>8903168</i>	<i>29 Horas</i>	
<i>P-03</i>	<i>399.15</i>	<i>363699</i>	<i>8903333</i>	<i>29 Horas</i>	
<i>P-04</i>	<i>402.06</i>	<i>363586</i>	<i>8903190</i>	<i>29 Horas</i>	

ANEXO 4

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE LOS EQUIPOS



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



Registro N° LC - 029

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN OHLF-196-2023

1.- SOLICITANTE

Razón social: MARALF E.I.R.L.
Dirección: AV. AMANCAES NRO. 255 VALLECITO LIMA - LIMA - VILLA MARIA DEL TRIUNFO
OTI: LC-294

2.- INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

Medidor de Caudal
Marca : Thermo scientific
Modelo : 2025
N° de Serie : 2025b225410905
Código de identif. : No indica
Procedencia : Estados Unidos
Intervalo de Medición : 10 L/min a 20 L/min
Resolución : 0,1 L/min

3.- PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

La calibración se efectuó según el ME-009: 1° Ed., "Procedimiento Calibración de Caudalímetros de Aire" del Centro Español de Metrología.

4.- FECHA Y LUGAR DE CALIBRACIÓN

- * El instrumento fue calibrado el 2023 - 06 - 26.
- * La calibración se realizó en el Área de Flujo del Laboratorio OHLAB.

5.- TRAZABILIDAD

N° de Certificado	Patrón utilizado	Marca	Modelo
LFG-021-2023	Medidor de Caudal, con una exactitud del 1 % de la indicación.	MesaLabs	Defender 530+H
INACAL / DM			

6.- CONDICIONES AMBIENTALES

Temperatura	23,4 °C	± 0,1 °C
Humedad	53,0 % HR	± 1,5 % HR
Presión	1011,6 hPa	± 1,3 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. 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.

Fecha de emisión: 2023 - 06 - 26.



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 OHLF-196-2023

7.- RESULTADOS

CCV	Indicación del Caudalímetro	Error	Incertidumbre
L/min	L/min	L/min	L/min
13,14	13,0	-0,14	0,17
16,98	16,7	-0,28	0,17
18,48	18,0	-0,48	0,17

CCV: Caudal Convencionalmente Verdadero

Temperatura del aire: 23,0 °C a 23,1 °C.

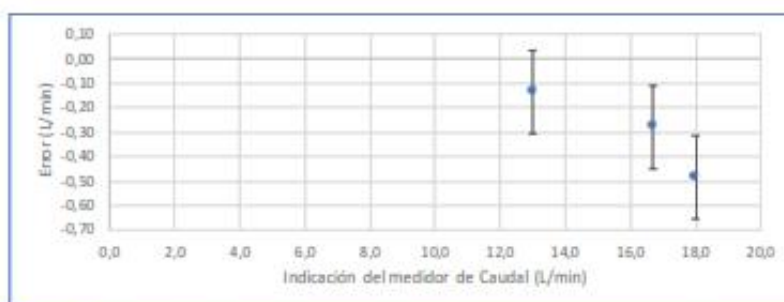


Figura 1.- Curva de calibración del medidor de caudal, el fluido de trabajo fue aire atmosférico.

7.1.- NOTAS

- * Los datos obtenidos son el resultado del promedio de 15 mediciones por punto de calibración.
- * 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 aproximado de confianza del 95%.

Fin del documento

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Cotización : 8979

SOLICITANTE : BOCATHI CORPORATION EMPRESA
INDIVIDUAL DE RESPONSABILIDAD
LIMITADA

DIRECCIÓN : JR. SINCHI ROCA NRO. 229 INT. 3 OTR.
PAUCARBAMBA HUANUCO - HUANUCO -
AMARILIS

INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : MUESTREADOR DE PARTICULAS

Marca : ECS
Modelo : LOWVOL
N° de serie : No indica
Tipo de indicación : Digital
Código de identificación : ME-7322 (*)
Procedencia : No indica
Ubicación : No indica

FECHA Y LUGAR DE CALIBRACIÓN

Fecha de calibración : 2024-12-11
Fecha de emisión : 2024-12-12
Lugar de calibración : Laboratorio de Análisis Químico /
**METRINDUST S.A.C. - SEDE LOS
JAZMINES**

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

Tomando como referencia los procedimientos:
-TH-007 "Procedimiento para la Calibración de medidores de Condiciones Ambientales de Temperatura y Humedad en aire". Edición Digital. CEM-España.
-PC-024 Procedimiento para la Calibración de Instrumentos de Medición de Presión Absoluta (Barómetros) - 1° Ed. Noviembre 2015 INACAL-DM.

AUTORIZADO POR:



N° DE CERTIFICADO

MT - 6654 - 2024

METRINDUST S.A.C. Departamento de Metrología realiza calibraciones y certificaciones en metrología según procedimientos de calibración validados o normalizados.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al cliente recalibrar sus instrumentos y equipos a intervalos apropiados.

Los resultados son válidos solamente para el ítem sometido a calibración, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

METRINDUST S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este equipo, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados. El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.



Dennis Gamarra Rodríguez
Firma

Gamarra Rodríguez Dennis
Gerente Técnico

Página 1 de 3

CONDICIONES AMBIENTALES

MAGNITUD	INICIAL	FINAL
Temperatura	20,5 °C	20,7 °C
Humedad relativa	60 %	59 %

TRAZABILIDAD

TRAZABILIDAD	PATRÓN DE TRABAJO	CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
Patrones de referencia de INACAL - DM	Barotermohigrómetro	LFP - 261 - 2024
Patrones de referencia de INACAL - DM	Termómetro digital de incertidumbres de 0,032 °C al 0,060 °C	LT - 087 - 2024
Patrones de referencia de LO JUSTO S.A.C.	Medidor de Condiciones Ambientales de Temperatura y Humedad en Aire	E054-L-163A-2024-1

RESULTADOS DE MEDICIÓN

PARA EL SENSOR DE TEMPERATURA DE FILTRO			
INDICACIÓN DEL TERMOMETRO (°C)	CORRECCIÓN (°C)	TEMPERATURA CONVENCIONALMENTE VERDADERA (°C)	INCERTIDUMBRE (°C)
15,05	-0,06	14,97	0,1
25,10	0,06	25,16	0,1
30,10	-0,03	30,07	0,1

Temperatura Convencionalmente Verdadera (TCV) = Indicación del termómetro + Corrección

PARA EL SENSOR DE TEMPERATURA AMBIENTAL			
INDICACIÓN DEL TERMOMETRO (°C)	CORRECCIÓN (°C)	TEMPERATURA CONVENCIONALMENTE VERDADERA (°C)	INCERTIDUMBRE (°C)
15,15	0,07	15,22	0,1
25,05	0,07	25,12	0,1
30,20	0,13	30,33	0,1

Temperatura Convencionalmente Verdadera (TCV) = Indicación del termómetro + Corrección

PARA EL SENSOR DE PRESIÓN			
INDICACIÓN DEL INSTRUMENTO (hPa)	PRESIÓN CONVENCIONALMENTE VERDADERA (hPa)	CORRECCIÓN (hPa)	INCERTIDUMBRE (hPa)
952,01	954,50	2,49	0,1

Presión Convencionalmente Verdadera (PCV) = Indicación del Instrumento + Corrección

OBSERVACIONES

(*) Código de identificación asignado por METRINDUST S.A.C.

Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación (CALIBRADO).

INCERTIDUMBRE

La incertidumbre expandida reportada es la incertidumbre combinada multiplicada por el factor de cobertura ($k = 2$) de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95 %.

**** FIN DEL DOCUMENTO ****

ANEXO 5

PANEL FOTOGRÁFICO.



MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE PM10 EN EL P-01 DEL MERCADO DE PUELLES EN COMPAÑÍA DE MI ASESOR EL MG RAUL CAJAHUANCA



MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE PM10 EN EL P-01 DEL MERCADO DE PUELLES - HUÁNUCO



CAMBIO DE FILTRO DE PM10 EN EL MUESTREADOR DE PARTICULAS -
ECS - LOWVOL



CAMBIO DE FILTRO DE PM10 EN EL MUESTREADOR DE
PARTICULAS - ECS - LOWVOL



MONITOREO DE AIRE PM10 EN EL PUNTO P-02 EN EL MERCADO DE PUELLES - HUÁNUCO



MONITOREO DE AIRE PM10 EN EL PUNTO P-02 EN SUPERVISION DE MI ASESOR EL MG RAUL CAJAHUANCA



INSTALACIÓN Y SUPERVISIÓN DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA



MEDICIÓN DE LA PRECIPITACIÓN, DIRECCIÓN DEL VIENTO, VELOCIDAD DEL VIENTO Y TEMPERATURA



MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE PM10 EN EL PUNTO P-03 DEL MERCADO DE PUELLES



SUPERVISON DE MI ASESOR DE TESIS EL MG RAUL CAJAHUANCA TORRES



MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE PM10 EN EL PUNTO P-04 DEL
MERCADO DE PUELLES - HUÁNUCO



EL MUESTREADOR DE PARTICULAS PM10 - MARCA:
ECS - MODELO: LOWVOL

INFORME DE ENSAYO N° 2025-0000641

Razon social del cliente: FREY BRUCE VILLANUEVA CAJAHUAMAN **RUC:** 72121854
Domicilio legal del cliente: HUANUCO - HUANUCO - HUANUCO **Cotización:** 2025-0309

Producto declarado: Filtro Ambiental
Número de Muestras: 16
Presentación: Filtro Ambiental
Procedencia: Mercado mayorista de Puelles - Huánuco
Muestreado por: MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGUN CADENA DE CUSTODIA
Punto de muestreo: P-01, P-02, P-03 y P-04 (Interiores del mercado mayorista de Puelles)
Código de Muestra: 2025-0000641
Fecha de inicio de análisis: 2025-05-14
Fecha de término de análisis: 2025-05-18
Fecha de emisión: 2025-05-19

CALIDAD DE AIRE - Día 1 - 14/05/25							
Análisis	L.D.M	L.C.M	Unidad	Resultados			
				P - 01	P - 02	P - 03	P - 04
Determinación de Peso en Fibras PM-10 Bajo Volumen (*)	0.001	0.001	mg	490.23	510.45	440.34	420.91

CALIDAD DE AIRE - Día 2 - 15/05/25							
Análisis	L.D.M	L.C.M	Unidad	Resultados			
				P - 01	P - 02	P - 03	P - 04
Determinación de Peso en Fibras PM-10 Bajo Volumen (*)	0.001	0.001	mg	520.43	556.78	534.67	538.09

CALIDAD DE AIRE - Día 3 - 16/05/25							
Análisis	L.D.M	L.C.M	Unidad	Resultados			
				P - 01	P - 02	P - 03	P - 04
Determinación de Peso en Fibras PM-10 Bajo Volumen (*)	0.001	0.001	mg	450.32	441.76	438.39	435.67

CALIDAD DE AIRE - Día 4 - 17/05/25							
Análisis	L.D.M	L.C.M	Unidad	Resultados			
				P - 01	P - 02	P - 03	P - 04
Determinación de Peso en Fibras PM-10 Bajo Volumen (*)	0.001	0.001	mg	421.54	437.98	399.45	402.06

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL - DA.

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE UN DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la autorización escrita de PACIFIC CONTROL S.A.C. Los resultados contenidos en el presente documento solo están relacionados con los ítems ensayados. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado de sistemas de calidad de la entidad que lo produce.
 PRI-13-15-01 / V04, 2025.03.30

Our general term and conditions are available in full www.pacificcontrol.us or at your request
 Offices, Resident Inspectors, Joint Ventureships, and Representative throughout the world

TIC Council is an international association representing independent testing, inspection and certification companies.



Pacific Control SAC
 Panamericana Sur Km 23.5- Santa Rosa de Llanavilla Mz Q Lote 07 y 08 - Villa el Salvador
 (+511) 660 2323

Página 1 de 2
 JE/CYP/CYP

INFORME DE ENSAYO N° 2025-0000641

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO	CONDICIÓN DE ACREDITACIÓN / LUGAR DE ANÁLISIS
Determinación de Peso en Filtros PM-10 Bajo Volumen	EPA-Compendium Method IO-2.3. No incluye muestreo Validado (modificado), 2023	Sampling of Ambient Air for PM10 Concentration Using the Rupprecht and Patashnick (R&P), Low Volume Partisol Sampler	INACAL LE - 074 - VILLA EL SALVADOR

EPA: Agencia de Protección Ambiental

Observaciones

-Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"La información contenida en este informe está basada en pruebas de laboratorio y observaciones realizadas por Pacific Control S.A.C. - Laboratorio. La muestra fue enviada por el cliente sólo para análisis.

Pacific Control S.A.C. Laboratorio. No es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas y de la información proporcionada por el cliente".



CELINO YAHUANA PALACIOS
Gerente de Laboratorio
PACIFIC CONTROL SAC

FIN DE DOCUMENTO

"EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE UN DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la autorización escrita de PACIFIC CONTROL S.A.C. Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado de sistemas de calidad de la entidad que lo produce.
PR-13-15-01 / V04, 2025.03.30

Our general term and conditions are available in full www.pacificcontrol.us or at your request
Offices, Resident Inspectors, Joint Ventureships, and Representative throughout the world

TIC Council is an international association representing independent testing, inspection and certification companies.



Pacific Control SAC
Panamericana Sur Km 23.5- Santa Rosa de Ulanavilla Mz Q Lote 07 y 08 - Villa el Salvador
(+511) 660 2323

Página 2 de 2
JE/CYP/CYP

ANEXO 6

MAPA DE UBICACIÓN DEL PROYECTO

