

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
RECURSOS NATURALES



Tesis

**Evaluación de la calidad de aire y análisis de partículas generadas por la
trocha carrozable en la comunidad campesina de Pillao Matao del Distrito de
San Jerónimo – 2023**

Asesora:

Mag. Hanco Loayza, Helidia

Autor:

Condori Ariza, Jaime

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Ambiental

Cusco - Cusco - Perú

2025



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

"Año de la Recuperación y Consolidación de la Economía Peruana"

Acta N°: 001

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Cusco, a los 31 días del mes de enero del año 2025, siendo las 11:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Sub Directoral N° 026-2025-UTEA-FI-EPIARN-SD de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales, Facultad de Ingeniería

Presidente :	Mg Cynthia Cecilia Arrieta Concha
Dictaminante :	Blga. Ing. Gladys Allende Ramos.
Replicante :	Mg. José Salustio Pozo Gonzales.

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

"EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE Y ANÁLISIS DE PARTÍCULAS GENERADAS POR LA TROCHA CARROZABLE EN LA COMUNIDAD CAMPESINA DE PILLAO MATAO DEL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, 2023"

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Bach: CONDORI ARIZA JAIME

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

Concluido el acto de Sustentación, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):

Por: Unanimidad

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Bach. CONDORI ARIZA, JAIME	13 Trece (Aprobado)

Siendo las 12:20 horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Mg. Cynthia Cecilia Arrieta Concha

Dictaminante: Blga. Ing. Gladys Allende Ramos.

Replicante: Mg. José Salustio Pozo Gonzales

(*): **Mayoría:** Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; **Unanimidad:** Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art.18 RGGAT.

(**): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

Evaluación de la calidad de aire y análisis de partículas generadas por la trocha carrozable en la comunidad campesina de Pillao Matao del distrito de San Jerónimo – 2023.doc

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	Submitted to Universidad Tecnologica de los Andes Trabajo del estudiante	1%
3	M & D CONSULTING S.A.C.. "Modificación para Impactos Ambientales Negativos No Significativos para la Implementación de una Tercera Línea de Descarga de Materia Prima y Modificación de la Estrategia de Manejo Ambiental de la Planta de Harina y Aceite de Pescado con Capacidad Instalada Total de 159 t/h Ubicada en el Distrito de Rázuri, Provincia de Ascope y Departamento de La Libertad-IGA0017208", R.D. N° 00105-2021-PRODUCE/DGAAMPA, 2022 Publicación	1%

Metadatos

Datos del Autor	
Apellidos y Nombres	: Condori Ariza, Jaime
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Numero de Documento de Identidad	: 76061354
URL ORCID	: https://orcid.org/0009-0009-8445-4467
Datos del Asesor	
Apellidos y Nombres	: Mag. Hanco Loayza, Helidia
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Numero de Documento Identidad	: 23946122
URL ORCID	: https://orcid.org/0000-0002-1928-5013
Datos de la investigación	
Facultad	: Ingeniería
Escuela profesional	: Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales
Línea de investigación	: Calidad Ambiental
Rangos de años en que se realizó la investigación	: septiembre 2023 - noviembre 2024
Fuente de financiamiento	: Autofinanciado
Porcentaje de similitud	: 14%
URL de OCDE	: https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01

Dedicatoria

Agradezco a Dios por acompañarme en cada paso de mi propio camino y por guiarme, protección y brindarme la fuerza necesaria para continuar. A mis padres, quienes han cuidado siempre de mi bienestar y educación, han sido mi máximo apoyo en toda circunstancia. Han creído en mí por completo ante cada prueba, sin dudar ni un solo momento de mi capacidad e inteligencia. Gracias a ellos, estoy cumpliendo mi sueño. Los amo mucho.

Jaime Condori Ariza

Agradecimiento

Agradezco a Dios por haberme llevado por el camino de la felicidad hasta este momento. En segundo lugar, a todos y cada uno de los miembros de mi familia, a mi papá, Felipe Condori Conza; a mi mamá, Virginia Ariza Vargas, y a mis hermanos; ellos son la mejor motivación en mi vida como hijo mayor, pues siempre me han brindado fuerzas y apoyo absoluto hasta el día de hoy.

Jaime Condori Ariza

Resumen

La investigación abordó la relación entre la calidad del aire y el material particulado generado en la trocha carrozable de la Comunidad Campesina Pillao Matao, en San Jerónimo, en 2023. El objetivo fue determinar el vínculo entre la calidad atmosférica y el material particulado en esta vía rural. Se utilizó un enfoque cuantitativo con un diseño descriptivo-correlacional y no experimental. Los resultados mostraron que, en la temporada de lluvias, los niveles de PM_{2.5} y PM₁₀ se mantuvieron dentro de los estándares peruanos y del Índice de Calidad del Aire (ICA) norteamericano, pero superaron los límites establecidos por la normativa europea y la OMS. Durante la temporada seca, las concentraciones de PM_{2.5} y PM₁₀ fueron inferiores a la normativa peruana, pero excedieron los valores internacionales, clasificando los puntos de monitoreo como "Moderados" según el ICA. Además, una encuesta aplicada a los residentes reveló que un alto porcentaje experimentó problemas respiratorios y afecciones crónicas debido a la exposición al polvo y partículas en suspensión. Se concluyó que las actividades en la trocha carrozable impactan negativamente en la calidad del aire y la salud de los habitantes, superando los estándares ambientales establecidos. Esto resalta la necesidad de implementar medidas de mitigación, como el riego periódico de la vía, el uso de materiales menos polvorientos y la reforestación de áreas cercanas para reducir la dispersión de partículas.

Palabras clave: Calidad de aire, Índice de calidad del aire, Red de monitoreo ambiental, Trocha carrozable.

Abstract

The research addressed the relationship between air quality and particulate matter generated on the rural road in the Pillao Matao Farming Community, San Jerónimo, in 2023. The objective was to determine the link between atmospheric quality and particulate matter on this rural road. A quantitative approach with a descriptive-correlational design and non-experimental scheme was used. The results showed that, during the rainy season, PM_{2.5} and PM₁₀ levels were within the Peruvian standards and the North American Air Quality Index (AQI), but exceeded the limits set by European regulations and the WHO. During the dry season, PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations were below Peruvian standards, but exceeded international values, classifying monitoring points as "Moderate" according to the AQI. Additionally, a survey applied to residents revealed that a high percentage experienced respiratory problems and chronic conditions due to prolonged exposure to dust and suspended particles. It was concluded that activities on the rural road negatively impact air quality and the health of residents, surpassing established environmental standards. This emphasizes the need to implement mitigation measures such as periodic road watering, the use of less dusty materials, and the reforestation of nearby areas to reduce particle dispersion.

Key words: Air quality, Air quality index, Environmental monitoring network, Rural road.

índice

Portada.....	i
Acta de sustentación.....	ii
Reporte de similitud	iii
Metadatos.....	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento.....	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Índice de tablas.....	xii
Índice de figuras	xiv
Acrónimos.....	xvi
I. Introducción	17
II. Planteamiento del problema	20
2.1. Descripción y formulación del problema.....	20
2.2. Objetivos	23
2.2.1. Objetivo General	23
2.2.2. Objetivos Específicos	23
2.3. Justificación e importancia	23
2.4. Hipótesis	25
2.4.1. Hipótesis General.....	25
2.4.2. Hipótesis Específicas	25
2.5. Variables	25

2.5.1. Variable dependiente.....	25
2.5.2. Variable independiente.....	25
III. Marco teórico	27
3.1. Antecedentes.....	27
3.2. Bases teóricas	32
3.3. Definición de términos.....	47
IV. Metodología.....	50
4.1. Tipo y nivel de investigación.....	50
4.2. Ámbito Temporal y espacial.....	50
4.2.1. Temporal	50
4.2.2. Espacial	51
4.3. Población y muestra.....	51
4.3.1. Parámetros evaluados.....	53
4.3.2. Ubicación de los puntos de monitoreo.....	53
4.4. Instrumentos	54
4.5. Procedimientos	54
4.6. Consideraciones éticas	56
V. Resultados y discusión	57
5.1. Resultados.....	57
5.2. Discusión de resultados	92
VI. Conclusiones	99
VII. Recomendaciones	101
VIII. Referencias	102

IX. Anexos.....	111
------------------------	------------

Índice de tablas

Tabla 1 Operacionalización de variables	26
Tabla 2 Estándares de Calidad Ambiental para Aire	34
Tabla 3 Límites regulados para emisiones gaseosas y partículas de actividades de hidrocarburos.....	39
Tabla 4 Límites regulados para emisiones gaseosas y partículas de actividades de hidrocarburos o instalaciones nuevas	39
tabla 5 Requisito de frecuencia y periodos de monitoreo para redes vinculadas a planes de acción para mejora de la calidad de aire.....	52
Tabla 6 Parámetros Evaluados.....	53
Tabla 7 Ubicación de los puntos de monitoreo	53
Tabla 8 Dirección y velocidad promedio anual del viento en cusco.....	57
Tabla 9 Datos meteorológicos de la estación de aire EA-01 (km 0+000 - km 2+000) el 27-03-24 por 24 horas	59
Tabla 10 Datos meteorológicos de la estación de aire EA-02 (km 2+000 - km 4+000) el 28-03-24 por 24 horas	61
Tabla 11 Datos meteorológicos de la estación de aire EA-03 (km 4+000 - km 6+224) el 29-03-24 por 24 horas	63
Tabla 12 Datos meteorológicos de la estación de aire EA-01 (km 0+000 - km 2+000) el 01-08-24 por 24 horas	65
Tabla 13 Datos meteorológicos de la estación de aire EA-02 (km 2+000 - km 4+000) el 28-03-24 por 24 horas	67
Tabla 14 Datos meteorológicos de la estación de aire EA-03 (km 4+000 - km 6+224) el 03-08-24 por 24 horas	69
Tabla 15 Resultados de las estaciones para el PM 2,5 en temporada de lluvia según normativa peruana.....	71
Tabla 16 Resultados de las estaciones para el PM 10 en temporada de lluvia según la normativa peruana.....	72

Tabla 17 Resultados de las estaciones según el ICA en temporada de lluvia de la PM 2,5	72
Tabla 18 Resultados de las estaciones según el ICA en temporada de lluvia de la PM 10	73
Tabla 19 Resultados de las estaciones para el PM 2,5 en temporada de lluvia según la UE	73
Tabla 20 Resultados del seguimiento de la calidad de aire de las estaciones (PM 10) en temporada de lluvia según la UE	74
Tabla 21 Resultados del seguimiento de la calidad de aire de las estaciones (PM 2,5) en temporada de lluvia según la OMS	75
Tabla 22 Resultados de las estaciones para PM 10 en temporada de lluvia según la OMS	76
Tabla 23 Resultados de las estaciones para PM 2,5 en temporada seca según normativa peruana	77
Tabla 24 Resultados de las estaciones para PM 10 en temporada seca según normativa peruana	78
Tabla 25 Resultados de las estaciones según el ICA en temporada seca	78
Tabla 26 Resultados de las estaciones según el ICA en temporada seca	79
Tabla 27 Resultados de las estaciones para PM 2,5 en temporada seca según la UE	79
Tabla 28 Resultados de las estaciones para PM 10 en temporada seca según la UE	80
Tabla 29 Resultados de las estaciones para PM 2,5 en temporada seca según la OMS.	81
Tabla 30 Resultados de las estaciones para PM 10 en temporada seca según la OMS..	82

Índice de figuras

Figura 1	Clasificación del estado de la calidad del aire	41
Figura 2	Ubicación de los puntos de monitoreo.....	51
Figura 3	Rosa de viento de la EA-01 en temporada de lluvia	60
Figura 4	Rosa de viento de la EA-02 en temporada de lluvia	62
Figura 5	Rosa de viento de la EA-03 en temporada de lluvia	64
Figura 6	Rosa de viento de la EA-01 en temporada seca	66
Figura 7	Rosa de viento de la EA-02 en temporada seca	68
Figura 8	Rosa de viento de la EA-03 en temporada seca	70
Figura 9	Resultados de las PM 2,5 de las estaciones según INCA	71
Figura 10	Resultados de las PM 10 de las estaciones según INCA	72
Figura 11	Resultados de las PM 2,5 de las estaciones según la normativa europea 2024	73
Figura 12	Resultados de las PM 10 de las estaciones según la normativa europea 2024	74
Figura 13	Resultados de las PM 2,5 de las estaciones según OMS 2021.....	75
Figura 14	Resultados de las PM 10 de las estaciones según OMS 2021.....	76
Figura 15	Resultados de las PM 2,5 de las estaciones según INCA	77
Figura 16	Resultados de las PM 10 de las estaciones según INCA	78
Figura 17	Resultados de las PM 2,5 de las estaciones según la normativa europea 2024	80
Figura 18	Resultados de las PM 10 de las estaciones según la normativa europea 2024	81
Figura 19	Resultados de las PM 2,5 de las estaciones según OMS 2021.....	82
Figura 20	Resultados de las PM 10 de las estaciones según OMS 2021.....	83
Figura 21	Resultado de la pregunta 4: ¿Como calificarías tu estado de salud actual?	85
Figura 22	Resultado de la pregunta 5: ¿Ha tenido alguna enfermedad crónica en los últimos 6 meses?	85

Figura 23 Resultado de la pregunta 6: ¿Ha experimentado algún síntoma de enfermedad respiratoria en los últimos 6 meses?.....	86
Figura 24 Resultado de la pregunta 7: ¿Ha notado algún cambio en su salud desde que iniciaron la obra de la trocha carrozable?.....	86
Figura 25 Resultado de la pregunta 8: ¿Ha notado algún aumento en la cantidad de polvo y partículas en el aire desde que iniciaron la obra de la trocha carrozable?.....	87
Figura 26 Resultado de la pregunta 9: ¿Ha experimentado algún problema de salud que cree que este relacionado con la contaminación de aire?	88
Figura 27 Resultado de la pregunta 10: ¿Ha tomado alguna medida para proteger su salud de la contaminación de aire?	88
Figura 28 Resultado de la pregunta 11: ¿Qué cree que se podría hacer para reducir la contaminación del aire en la comunidad?	89
Figura 29 Resultado de la pregunta 12: ¿Cómo cree que la contaminación del aire ha afectado su salud?.....	89
Figura 30 Resultado de la pregunta 13: ¿Qué cree que es la principal causa de la contaminación del aire en la comunidad?	90
Figura 31 Resultado de la pregunta 14: ¿Qué cree que se podría hacer para mejorar la salud de la comunidad?.....	90
Figura 32 Resultado de la pregunta 15: ¿Cómo cree que la comunidad podría trabajar juntos para abordar los problemas de salud relacionados con la contaminación de aire?.....	91

Acrónimos

ICA	: Índice de Calidad del Aire
OMS	: Organización Mundial de la Salud
ECA	: Estándares de Calidad Ambiental
PM	: Material particulado
CA	: Calidad de aire
UNICEF	: Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia.
OEFA	: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
EPI	: Equipos de Protección Individual
DIGESA	: Dirección General de Salud Ambiental
MINAM	: Ministerio del Ambiente
SENAMHI	: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
LMP	: Límite Máximo Permisible
US EPA	: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos
INSIVUMEH	: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología

I. Introducción

La calidad del aire es un factor fundamental para la sanidad pública y el equilibrio ecológico. A escala global, la contaminación atmosférica se ha transformado en una preocupación creciente debido al efecto que causa en el bienestar humano y en los ecosistemas. Entre los diversos aspectos que inciden en la degradación del ambiente, las actividades económicas y la infraestructura vial juegan un papel relevante. En el contexto peruano, las zonas rurales no están exentas de esta problemática, especialmente en comunidades donde el desarrollo vial involucra la construcción y uso de trochas carrozables.

El presente estudio se centra en la "Valoración de la pureza del aire" y análisis de partículas generadas por el camino rural en la Comunidad Campesina de Pillao Matao del distrito de San Jerónimo - 2023. La investigación surge debido a la creciente preocupación de los pobladores de la comunidad por el deterioro de la calidad atmosférica ocasionado por el tránsito vehicular en la trocha carrozable, lo que genera la emisión de partículas en suspensión (PM10 y PM2.5). Estas partículas representan una amenaza considerable para la higiene respiratoria de los habitantes y afectan el entorno natural, lo que justifica la necesidad de evaluar los índices de contaminación y su vínculo con la infraestructura vial en la comunidad.

Para abordar esta problemática, la investigación se ha diseñado bajo un método cuantitativo con enfoque descriptivo-correlacional, utilizando una metodología no experimental. Se realizaron mediciones en puntos estratégicos dentro de la comunidad

para determinar las concentraciones de PM10 y PM2.5, comparándolas con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) nacionales e internacionales. Además, se llevaron a cabo encuestas a los residentes para evaluar su percepción sobre las repercusiones de la polución en el aire en su bienestar y calidad de vida.

Entre las limitaciones del estudio, se encuentran la variabilidad climática, que puede influir en la concentración de material particulado, y la falta de registros históricos detallados sobre la calidad del aire en la zona. Sin embargo, se han implementado estrategias metodológicas que permiten minimizar estos efectos y obtener datos representativos.

El informe de investigación se estructura de la siguiente manera:

- i. Planteamiento del problema: Se expone el impacto de la construcción y uso de la trocha carrozable en la calidad del aire y sus efectos en la salud de los habitantes de Pillao Matao.
- ii. Marco teórico: Se presentan antecedentes y bases conceptuales sobre la calidad del aire, normativas ambientales y efectos del material particulado en la salud y el medioambiente.
- iii. Metodología: Se detallan las estrategias de muestreo, la ubicación de los puntos de monitoreo, los instrumentos utilizados y los criterios de análisis empleados.
- iv. Resultados y discusión: Se analizan los datos obtenidos y su comparación con los estándares de calidad del aire, identificando los niveles de contaminación y sus implicaciones.
- v. Conclusiones: Se sintetizan los hallazgos principales y se determina si los objetivos planteados fueron alcanzados.
- vi. Recomendaciones: Se proponen estrategias de mitigación para reducir el impacto de la trocha carrozable en la calidad del aire y mejorar la salud de la comunidad.

El desarrollo de esta investigación permite aportar evidencia científica sobre la problemática ambiental en la comunidad de Pillao Matao, brindando información relevante para la adopción de resoluciones y la ejecución de acciones correctivas que contribuyan a elevar el bienestar de sus habitantes.

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y formulación del problema

A nivel global, la pureza del aire es una preocupación creciente debido a los elevados niveles de contaminación. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2022), el 99% de la población mundial inhala aire que sobrepasa los niveles permisibles, lo que implica un peligro considerable para la salud pública. A pesar de que desde 2011 más de 6.000 ciudades en 117 países han intensificado sus esfuerzos en seguimiento y supervisión de la calidad del aire, la exposición a agentes contaminantes como micropartículas (PM_{2.5}) y óxidos de nitrógeno (NO₂) sigue afectando de manera desproporcionada a los habitantes de naciones con recursos económicos limitados y medios (Organización Naciones Unidas [ONU], 2022).

En 2022, solo 13 países, entre ellos Australia, Estonia y Finlandia, cumplieron con los criterios de pureza del aire fijados por la OMS. En contraste, países como Chad, Irak y Pakistán registraron niveles de alarma de contaminación, con concentraciones que superaron los 50 µg/m³, lo que constituye un alto peligro para el bienestar, especialmente por la presencia de partículas PM_{2.5} (Ramírez, 2023).

La contaminación atmosférica ha tenido efectos devastadores a nivel global. Según la OMS (2022), en 2019 el 37% de los fallecimientos prematuros vinculados a la polución se asociaron a afecciones del corazón y eventos cerebrovasculares, afectando principalmente a países con economías de bajos y medianos ingresos, donde se registró el 89% de estos decesos. Asimismo, un informe de El Diario Peruano (2023) reportó que, en Sudamérica, la contaminación atmosférica generó aproximadamente 37,000

muerdes en un año, mostrando un aumento desde 2015. En particular, Chile y Perú presentan las tasas más altas de mortalidad asociadas a la polución del aire, con niveles de contaminación en Perú que alcanzaron los $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$, superando en más de cinco veces las recomendaciones de la OMS (Soria et al., 2024).

La contaminación del aire está compuesta por diversas sustancias, entre ellas partículas en suspensión como nitratos, sulfatos, amoníaco, polvos minerales, carbono y cloruro de sodio. Asimismo, se liberan gases contaminantes como dióxidos de nitrógeno (NO_2) y monóxido de carbono (CO), principalmente por la combustión en los sectores industrial y de transporte. Estos contaminantes generan efectos negativos en la salud humana (OMS, 2022; ONU, 2022).

En el contexto peruano, los parámetros de calidad del aire en la ciudad del Cusco indican niveles generalmente aceptables, con la excepción de la acumulación de monóxido de carbono, que, aunque elevada, aún se encuentra dentro de los límites establecidos y es catalogado como “excelente” (AccuWeather, Inc., 2023). Sin embargo, esta condición no es homogénea en toda la región.

Un caso preocupante es el de la Comunidad Campesina Pillao Matao, ubicada en el distrito de San Jerónimo, donde la calidad del aire ha experimentado un notable deterioro. Este problema se debe principalmente al aumento del tránsito vehicular generado por la expansión de la trocha carrozable que atraviesa la comunidad. Aunque esta vía sin pavimentar favorece la movilidad de los habitantes y el traslado de bienes y servicios, también provoca un impacto ambiental significativo al incrementar la cantidad de material particulado en suspensión.

Las carreteras sin asfalto, como las trochas carrozables, son una de las principales fuentes de emisión de partículas PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$. La fricción de los vehículos con el suelo genera la liberación de estas partículas al aire, lo que puede ocasionar graves problemas de salud, desde afecciones respiratorias hasta enfermedades cardiovasculares, afectando directamente a la población local.

A esta problemática se suma la actividad agrícola, la principal fuente de sustento de la comunidad, que también resulta afectada por la sedimentación de partículas contaminantes en los cultivos (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2024). Además, las condiciones climáticas de la región, en particular la velocidad y dirección del viento, pueden favorecer la dispersión de estas partículas hacia comunidades cercanas, ampliando el radio de impacto.

La falta de estudios detallados y de preventivas o correctivas por parte de las autoridades locales ha contribuido a que la comunidad desconozca los riesgos asociados y, en consecuencia, no adopte medidas para mitigar el problema. Por ello, resulta fundamental realizar un análisis de la calidad del aire en la zona, con el propósito de analizar la concentración de partículas generadas por la trocha carrozable. Este análisis permitirá comprender la magnitud del problema, evaluar su impacto en la salud de la población y en la producción agrícola, y proponer soluciones viables que contribuyan a la preservación del medio ambiente y el bienestar de la comunidad.

- ***Problema General***

¿Cuál es la relación que existe entre la calidad de aire y el material particulado generadas en la trocha carrozable de la Comunidad Campesina Pillao Matao del Distrito de San Jerónimo – 2023?

- ***Problemas Específicos***

- ¿Cuál es el nivel de emisión de material particulado (PM10) y (PM2,5) generada en la trocha carrozable de la Comunidad Campesina Pillao Matao durante el año 2023?
- ¿Cuál es el nivel de material particulado generado en áreas circundantes a la trocha carrozable comparado con los límites establecidos por los estándares de Calidad Ambiental (ECA) de la Comunidad Campesina Pillao Matao durante el año 2023?

- ¿Cuál es el impacto de la calidad del aire en la salud de la población, según los resultados de las encuestas aplicadas en la zona de influencia de la trocha carrozable en la Comunidad Campesina de Pillao Matao durante el año 2023?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo General

Determinar la relación que existe entre la calidad de aire y el material particulado generado en la trocha carrozable de la Comunidad Campesina Pillao Matao del Distrito de San Jerónimo-2023

2.2.2. Objetivos Específicos

- Evaluar el nivel de emisión de material particulado (PM10) y (PM 2,5) generada en la trocha carrozable de la Comunidad Campesina Pillao Matao durante el año 2023.
- Comparar el nivel de material particulado generado en áreas circundantes a la trocha carrozable con los límites establecidos por los estándares de Calidad Ambiental (ECA) de la Comunidad Campesina Pillao Matao durante el año 2023.
- Evaluar el impacto de la calidad del aire en la salud de la población mediante la aplicación de encuestas en la zona de influencia de la trocha carrozable en la Comunidad Campesina de Pillao Matao durante el año 2023.

2.3. Justificación e importancia

Justificación teórica

La calidad del aire es un tema ampliamente estudiado en contextos urbanos debido a su impacto en la salud pública y el medioambiente. Sin embargo, en las zonas rurales, como la Comunidad Campesina de Pillao Matao, existen pocos estudios que analicen los efectos de la contaminación generada por las trochas carrozables. Esta investigación contribuirá al conocimiento académico al examinar una problemática poco explorada en la literatura científica. Los hallazgos pueden servir de base para futuros

estudios que analicen problemáticas similares en comunidades rurales, así como para el diseño de estrategias de mitigación del impacto ambiental.

Justificación práctica

La investigación es relevante desde una perspectiva práctica porque busca determinar los impactos ambientales derivados del tránsito vehicular en trochas carrozables, así como su efecto en la calidad del aire. La acumulación de partículas en suspensión en el aire puede impactar negativamente la salud respiratoria de las personas y deteriorar el medioambiente. Evaluar estos impactos permitirá diseñar y proponer medidas correctivas y preventivas, tales como estrategias de control del polvo o mejoras en el diseño de la vía. Este estudio podría servir como referencia para aplicar soluciones efectivas en otras comunidades rurales afectadas por problemas similares.

Justificación social

El bienestar de las personas está directamente vinculado con la calidad del aire que respira. La exposición a partículas suspendidas puede generar afecciones respiratorias, enfermedades cardiovasculares y otras complicaciones de salud. En la zona de la Comunidad Campesina de Pillao Matao, el incremento del tránsito vehicular en la trocha carrozable ha generado preocupación entre los habitantes por el deterioro en la calidad del aire. Este estudio proporcionará información que podrá ser utilizada por los gobiernos locales y las comunidades para la toma de decisiones en la implementación de medidas que garanticen un ambiente saludable, reduciendo la exposición a contaminantes y mejorando el bienestar y calidad de vida de los pobladores.

Justificación ambiental

El efecto del aire contaminado es significativo, ya que afecta no solo a la salud humana, sino también a los ecosistemas locales. Las partículas en suspensión generadas por el tránsito vehicular pueden depositarse en cuerpos de agua y suelos, afectando la pureza del agua y la fertilidad del suelo. Además, la contaminación atmosférica puede alterar la biodiversidad y contribuir a problemas ambientales a largo

plazo. Esta investigación permitirá evaluar el impacto de la trocha carrozable en el ambiente y ofrecerá recomendaciones para mitigar sus efectos, promoviendo el desarrollo sostenible en la comunidad y contribuyendo a la protección de los recursos naturales.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

Las partículas generadas por la trocha carrozable se relacionan en gran medida con la calidad de aire (ECA) en la Comunidad Campesina de Pillao Matao del Distrito de San Jerónimo – 2023.

2.4.2. Hipótesis Específicas

- Los niveles de emisión de material particulado (PM10 y PM2,5) generados en la trocha carrozable de la Comunidad Campesina Pillao Matao durante el año 2023 presentan variaciones significativas entre las temporadas de lluvia y seca
- La comparación entre el nivel de material particulado (PM10 y PM2,5) generados en la temporada de lluvia y seca en áreas circundantes a la trocha carrozable, no cumplen con los límites establecidos por los estándares de Calidad Ambiental (ECA).
- La calidad del aire en la zona de influencia de la trocha carrozable en la Comunidad Campesina de Pillao Matao durante el año 2023 tiene un impacto negativo en la salud de la población, según los resultados de las encuestas aplicadas.

2.5. Variables

2.5.1. Variable dependiente

Y = Calidad de aire

2.5.2. Variable independiente

X1 = Partículas generadas por la trocha carrozable

Tabla 1
Operacionalización de variables

Variables	Dimensión Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
<p>Variable Independiente: Partículas generadas por la trocha carrozable</p>	<p>Las partículas presentes en la atmósfera, ya sean sólidas o líquidas, como el polvo, las cenizas y el polen, son consideradas materiales respirables. Estas partículas pueden tener efectos adversos en la salud respiratoria y cardiovascular (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2020).</p>	<p>UNICEF (2019) destaca que entre los contaminantes particulados más importantes en el aire se encuentran las partículas PM10 y PM2,5.</p>	<p>Partículas PM10</p> <p>Partículas PM2,5</p>	<p>– Volumen emitido a la atmósfera $\mu\text{g}/\text{m}^3$</p> <p>– Volumen emitido a la atmósfera $\mu\text{g}/\text{m}^3$</p>
<p>Variable Dependiente: Calidad de aire</p>	<p>La calidad del aire es un indicador que refleja la presencia o ausencia de contaminantes en el ambiente, que pueden ser de origen tanto natural como humano. Estos contaminantes tienen la capacidad de impactar negativamente la salud humana, dañar los ecosistemas y deteriorar diversos materiales (Ceballos, 2020).</p>	<p>Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del aire juegan un papel esencial en la formulación y ejecución de políticas ambientales. Estos estándares son claves para evaluar las emisiones de diversos proyectos y su impacto potencial en la calidad del aire (Decreto Supremo N° 003-2017- MINAM, 2017).</p>	<p>ECA Aire</p>	<p>– Supera $\mu\text{g}/\text{m}^3$</p> <p>– No supera $\mu\text{g}/\text{m}^3$</p>

Fuente: Elaboración propia

III. Marco teórico

3.1. Antecedentes

3.1.1. A nivel internacional

Mora (2022) realizó un estudio a nivel global con el propósito de valorar el impacto de las construcciones en el aire, particularmente en el PM10 en Tarqui-Guayaquil. Mediante el uso de una metodología documental y un modelo no experimental de campo con observaciones, Mora halló que, pese a que la concentración máxima de PM10 durante la edificación fue elevada (68.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), no superó el límite fijado (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Después de la edificación, la concentración se redujo considerablemente a 13.25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Para disminuir la contaminación por PM10 en proyectos futuros, se recomienda la utilización de camiones cisterna, la limpieza cotidiana de carreteras, la cobertura de camiones y volquetes, la restricción de velocidad, equipos de protección, señalización y seguimiento constante.

En su investigación, Tirado (2022) se enfocó en la presencia de PM10 en Ciudad Salitre, Fontibón (Colombia). A través de un método cuantitativo, se determinó que el aire satisface algunas regulaciones, mostrando un promedio superior a los 24,77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10. El 18 de agosto de 2022, se registraron los niveles más elevados, pero todavía dentro de las restricciones establecidas. Se descubrió que las partículas son principalmente originarias del noreste y se mueven a velocidades de 5-7 m/s, un hecho crucial para futuras estrategias de mitigación.

Castro (2021) realizó una investigación sobre las concentraciones para PM_{2,5} y PM₁₀ en Esmeraldas (Ecuador). En su enfoque descriptivo/observacional reveló que el 5% de las mediciones estuvo por encima de este límite, alcanzando un máximo de 15,0 mg/m³. En cuanto al PM₁₀, todas las mediciones estuvieron dentro del límite de 0 a 54 mg/m³, en una media de 34 mg/m³. Siendo, las concentraciones más altas de material particulado fueron obtenidas a las 19:00 horas de los viernes. En lo concerniente a índice de la calidad del aire (ICA), denota que el 95% de las mediciones son de PM_{2,5} y el 100% es PM₁₀ se estableció en la categoría “Buena” basados en la CA. Este estudio fue importante para entender las variaciones temporales y diarias de la contaminación en Esmeraldas y para la planificación de estrategias ambientales y de salud pública.

Ojeda (2020), realizó un análisis sobre los niveles tanto de PM₁₀, así como de PM_{2,5} en Misantla, México. Seleccionando 20 sitios de muestreo, descubrió que la velocidad del viento local no influyó significativamente en la dispersión de partículas, excepto con vientos mayores a 10 m/s. Los vientos predominantes se movían del oeste al este y hacia el norte. En condiciones hipotéticas, vientos del noroeste habrían empujado más contaminantes hacia las áreas de muestreo. Durante la primavera y el verano, las temperaturas más elevadas causaron que las partículas ascendieran, disminuyendo las concentraciones de contaminantes en los sitios seleccionados. Aunque la data matutina fue alta, no excedía los límites máximos permitidos, sugiriendo una inversión térmica en las mañanas. Este estudio proporciona información clave sobre la dinámica de los contaminantes atmosféricos en Misantla y sus variaciones según las condiciones meteorológicas y temporales.

Solís (2021), se centró en la calidad del aire en Coyhaique - Chile. El estudio abarcó el período 2013-2020 y reveló una estacionalidad en las concentraciones de PM₁₀ y PM_{2,5}, siendo más altas en otoño e invierno. Se observó un patrón diario de mayores concentraciones en las mañanas y atardeceres. Interesantemente, la mayoría del PM₁₀ estaba compuesta por PM_{2,5}. Hubo una tendencia decreciente en la contaminación por PM_{2,5}, con reducciones anuales promedio de -2.75 y -2.17 µg/m³ en

dos estaciones. Solís plantea la posibilidad de que Coyhaique logre cumplir el 2030 con las normas de calidad del aire, condicionado en la continuidad sobre políticas de prevención y descontaminación efectivas. Este estudio ofrece una perspectiva importante sobre el análisis del aire en Coyhaique y enfatiza en la necesidad de mantener medidas ambientales.

3.1.2. A nivel nacional

Barrientos y Espinoza (2021) realizaron una indagación sobre la calidad del aire en la edificación de veredas y pistas en el jirón Odonovan–Huancavelica. En un estudio explicativo y de diseño no experimental, se pudo examinar 5 puntos escogidos de manera no probabilística. Los hallazgos mostraron que los promedios para las partículas en suspensión PM10 fueron de $101.92 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y para PM2.5 de $55.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ambos superando los límites permitidos. El análisis del aire mostró una clasificación moderada para PM10, mientras que la clasificación para grupos sensibles fue baja para PM2.5. El resultado obtenido fue que el ambiente durante la fase de edificación no era adecuado, lo que implicaba un riesgo para las personas susceptibles a la polución atmosférica.

En contraposición, Gonzales (2022) intentó establecer la cantidad de materia en suspensión en el ambiente a través del método pasivo de recolección de muestras mensuales en diez estaciones de monitoreo del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, situadas en cuatro jurisdicciones. Se compararon los hallazgos obtenidos con el valor de referencia fijado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), que equivale a $5 \text{ Tn}/\text{Km}^2/\text{mes}$. El estudio evidenció que ocho estaciones superaron los estándares establecidos, dividiéndose en distintas categorías: tres estaciones consideradas altamente críticas, cuatro que sobrepasaron el límite de la OMS y tres catalogadas como ligeramente críticas, con leves excedentes sobre el límite permitido. En contraste, las estaciones de Távora y Huáscar registraron concentraciones por debajo del valor medio (3.6 y $3.4 \text{ Tn}/\text{Km}^2/\text{mes}$, respectivamente), lo que señala una buena dispersión del aire. Igualmente, al cotejar los datos de la estación SENAMHI desde 2014 hasta 2021, se notó una disminución del 50% en los

niveles de partículas, a pesar de que estos índices todavía superan las normas de la OMS. El estudio determina que el principal factor de contaminación es la acumulación de automóviles y la escasez de espacios verdes en la ciudad.

Córdova (2020), planteó la evaluación sobre el aire y su calidad en relación con el carbono de monóxido y el dióxido de azufre provenientes del tráfico en distintas áreas de Lima-Perú. Utilizando una metodología aplicada y descriptiva con un diseño transversal basado en la observación, los resultados arrojaron que en los meses tanto de octubre, así como noviembre monóxido de carbono alcanzó 4941 g/m^3 con un índice de 16.47, clasificando la calidad del aire como buena. Con respecto al dióxido de azufre, alcanzó 12.7 g/m^3 y un nivel de la calidad del aire de 5.05, lo cual indica que es adecuada según la Resolución N° 181 - 2016 publicada por el MINAM. Estos resultados son cruciales para analizar la repercusión del flujo vehicular sobre la pureza del aire en la ciudad.

Por otro lado, Huaycani (2021), evaluó las concentraciones de PM 10 y 2,5 en Tacna enfocándose en las condiciones meteorológicas. La investigación descriptiva y no experimental utilizó cinco puntos estratégicos de monitoreo, incluyendo áreas comerciales y recreativas. Los resultados mostraron que dos sitios tenían altas concentraciones de material particulado (PM_{2,5}), pero no superaban las normas del D.S. N° 003-2017-MINAM. Sin embargo, las concentraciones de PM₁₀ en Av. Bolognesi y ESPG-UNJBG excedieron las recomendaciones de la OMS, aunque se mantuvieron dentro de los límites locales. Este estudio proporciona una visión detallada del aire y su calidad explorando sus repercusiones tanto en el medio ambiente como en la salud.

Miranda (2020), dentro de su evaluación incluyó la medición de la concentración de polvo atmosférico sedimentable en Tacna. Se implementaron ocho zonas de muestra en donde aplicó el Muestreo Pasivo como parte de la metodología de, el mismo que se basó en colocar un vidrio de placas en lugares elevados durante 4 meses, con recopilación de datos cada 30 días. La selección de muestreo en función de la vía y su clase, en la densidad poblacional y el tráfico. Los resultados indicaron que el promedio

de partículas sedimentables fue inferior a la guía propuesta por la OMS. Posteriormente, se identificaron tres puntos críticos donde se monitoreo el material particulado 2,5 y 10, utilizando una metodología de Monitoreo Automático y estación móvil. Destaca la imperante necesidad de implementar medidas para controlar y reducir el polvo atmosférico sedimentable y material particulado.

3.1.3. A nivel Regional y local

Dales & Macedo (2022), se enfocaron en el aire y su calidad en Cusco, particularmente en relación basado en las emisiones en PM_{2,5}, PM₁₀ y CO de la industria ladrillera. El estudio, de carácter aplicado y cuantitativo, ejecutándose dentro del distrito de San Jerónimo, cubriendo los tres sectores principales de esta industria en la región. Los resultados mostraron que el aire es moderado según el Índice de Calidad Ambiental, con emisiones desplazándose del suroeste al noroeste a una velocidad de 3 m/s. En el mes de mayo, las concentraciones fueron de 30.3, 85.4, y 738 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{2,5}, PM₁₀ y CO, respectivamente. Este estudio es importante ya que de esa manera se puede entender sobre como la industria ladrillera tiene un fuerte impacto en la CA de Cusco.

Por otro lado, Condori & Huisa (2022), investigaron las condiciones del aire en las comunidades campesinas de Cala Cala y Nueva Esperanza, utilizando un enfoque cuantitativo y un método de investigación no experimental en comunidades campesinas de Espinar-Cusco. El estudio se centró en dos estaciones de monitoreo de aire cerca de la mina Antapaccay, en zonas próximas a la explotación minera, transporte y remoción de material. Los resultados indicaron que dentro de los puntos C-1 y C-2, existe mayor concentración de material particulado PM₁₀, sin embargo, en el caso del PM_{2.5}, el valor fue menor basado en lo dispuesto en el D.S. N° 003-2017 del MINAM, que fina como límite máximo en 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos descubrimientos resultan fundamentales para comprender cómo la minería genera un impacto en la CA en las comunidades cercanas y para el diseño de estrategias de control y mitigación.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Aire

Este genera una función fundamental debido a su composición de gases, incluyendo 79% de nitrógeno y 20% de oxígeno, en conjunto con proporciones variables vapor de agua y gases inertes y (Moreira, 2021). La atmósfera terrestre, predominante en el nitrógeno (78%) y oxígeno (21%), también contiene otros gases en menor cantidad (Dirección de Gestión de Calidad Ambiental, 2020). Este conjunto gaseoso, presente en todas partes, incluye también gases como el neón y el helio en menores proporciones (Parker, 2021). Por su parte, Finlayson & Pitts (1999) destacan que esta mezcla compleja de componentes, puede provocar reacciones químicas que afecten tanto el ambiente como la salud humana.

3.2.1.1. Calidad de aire

Es crucial debido gran problema que representa para la salud pública, si este se encuentra contaminado. Mejorar la calidad del aire puede reducir enfermedades respiratorias y cardiovasculares, como el asma (Diez, et al., 2020). Se define por la menor o nula presencia de contaminantes, de origen natural o antropogénico, los mismos que perjudican a la salud humana, la atmosfera y otros recursos (Ceballos, 2020). El aire y su nivel de calidad suele categorizarse en términos de buena o mala, basada en la cantidad de contaminantes presentes. Un aire de buena calidad está libre de contaminantes nocivos, un aire de mala calidad presenta riesgos para la salud y por ende al medio ambiente (Zhang et al., 2021).

3.2.1.2. Contaminación del aire

El aire se considera contaminado cuando presenta impurezas que sobrepasan niveles aceptables y resultan dañinos en la propiedad, el medio ambiente y la salud, estas impurezas pueden ser humos, gases, vapores y partículas (Wark et al., 1997). Por ello, un problema creciente en el siglo XXI, resulta la contaminación del aire por fuentes provenientes de contaminantes y la capacidad del medio para dispersarlos. La reducción

de esta contaminación puede contribuir las enfermedades vinculadas con el sistema cardiovascular y respiratorio (Ministerio de Salud y Protección Social, 2023).

3.2.1.3. Tipos de contaminación de aire

Dentro del Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (2020) clasifica algunos contaminantes atmosféricos en dos categorías:

- Contaminantes primarios: Son refieren a aquellos contaminantes que dañan el aire al ser liberados, por ejemplo, CO el cual proviene de los vehículos y el SO₂ de la quema de carbón.
- Contaminantes secundarios: Estos se forman cuando los contaminantes primarios reaccionan químicamente en el aire, creando compuestos más nocivos, como el smog fotoquímico.

3.2.1.4. Orígenes de la contaminación del aire

En el Ministerio de Salud y Protección Social (2023) considera que se pueden clasificar ciertas fuentes que contaminan del aire en categorías principales:

- Fuentes Fijas: Estas son puntos de emisión estacionarios que generan contaminantes como partículas, SO₂, NO_x, CO₂, CO e hidrocarburos. Su naturaleza estacionaria implica una localización constante.
- Fuentes Móviles: Se refieren a vehículos y medios de transporte que emiten contaminantes en movimiento, incluyendo PM, CO₂, SO₂, NO₂, y otros tóxicos durante la combustión.

3.2.1.5. Estándares de Calidad Ambiental (ECA)

Estos, son criterios determinados para controlar los niveles de diversas sustancias en el ambiente (aire, agua, suelo), con el fin de salvaguardar el entorno y la salud humana. La Entidad de Evaluación y Supervisión Ambiental (OEFA, 2020) define en términos atmosféricos, los límites para los contaminantes cuyo exceso podría ser perjudicial.

Dentro de la Ley General del Ambiente establece los ECA como normativas que fijan los límites permitidos de contaminantes en aire, agua y suelo, garantizando un entorno saludable. Es vital que la concentración de cada contaminante atmosférico no supere estos límites de cuidado medio ambiental y generar protección en la salud. (Ministerio del Ambiente, 2023).

Los ECA del aire son fundamentales dentro de las políticas del cuidado del ambiente. Son directrices obligatorias que deben ser consideradas en las emisiones de proyectos y actividades de varios sectores, y tienen un alto impacto dentro del aire y su calidad circundante (Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, 2017).

El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2020) establece que los ECA atmosféricos establecen límites para contaminantes como el dióxido de azufre (SO₂), el material particulado de menos de 10 micrómetros (PM 10), el monóxido de carbono (CO), el dióxido de nitrógeno (NO₂), el ozono (O₃), el plomo (Pb), el sulfuro de hidrógeno (H₂S), el material particulado de menos de 2.5 micrómetros (PM 2,5), los hidrocarburos totales expresados como hexano (HT) y el benceno (C₆H₆).

Tabla 2
Estándares de Calidad Ambiental para aire

Parámetros	Período	Valor [µg/m ³]	Criterios de evaluación	Método de análisis [1]
Benceno (C ₆ H ₆).	Annual	2	Media aritmética anual	Cromatografía de gases
Dióxido de Azufre (SO ₂)	24 horas	250	NE más de 7 veces al año	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)
	1 hora	200	NE más de 24 veces al año	
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	Annual	100	Media aritmética anual	Quimioluminiscencia (Método automático)

Parámetros	Período	Valor [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Criterios de evaluación	Método de análisis [1]
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM _{2,5})	24 horas	50	NE más de 7 veces al año	
	Annual	25	Media aritmética anual	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀)	24 horas	100	NE más de 7 veces al año	
	Annual	50	Media aritmética anual	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
Mercurio Gaseoso Total (Hg) [2]	24 horas	2	No exceder	Espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS)
				o Espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS)
Monóxido de Carbono (CO)	8 horas	10000	Media aritmética móvil	Espectrometría de absorción atómica Zeeman. (Métodos automáticos)
				Máxima media diaria
Ozono (O ₃)	8 horas	100	NE más de 24 veces al año	Fotometría de absorción ultravioleta (Método automático)
Plomo (Pb) en PM ₁₀	Mensual	1,5	NE más de 4 veces al año	

Parámetros	Período	Valor [µg/m ³]	Criterios de evaluación	Método de análisis [1]
	Annual	0,5	Media aritmética de los valores mensuales	Método para PM10 (Espectrofotometría de absorción atómica)
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	24 horas	150	Media aritmética	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)

Fuente: Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM (2017)

3.2.1.6. Relevancia en los estándares de calidad ambiental

Los estándares son fundamentales al momento de salvaguardar sobre el bienestar humano y medio ambiente. Establecen límites máximos aceptables de elementos o compuestos en distintos entornos, siendo clave al momento de crear legislaciones, políticas de gestión ambiental y estrategias. En el ámbito atmosférico, constituyen herramientas fundamentales para la prevención y gestión del aire, enfocándose en protección de la salud y el impulso al desarrollo sostenible (OEFA, 2015).

3.2.1.7. Medidas ante la superación de calidad ambiental de los estándares

Cuando los niveles contaminantes exceden los ECA, demuestra ser imperativo que para mejorar el aire se incluyan planes de mejor, basado en lo que indica el OEFA (2015). Este proceso incluye:

- Crear estrategias preliminares para reducir las emisiones, prevenir el deterioro en el aire y proteger a las poblaciones en riesgo.
- Realizar un análisis sobre costo-beneficio basado en la estrategia propuesta y evaluar las herramientas necesarias.
- Discusiones políticas para presentar diagnósticos y posibles soluciones.
- Consulta pública y presentación del plan de intervención.
- Aprobación final del plan de intervención.

3.2.1.8. Materiales necesarios para cumplir con la calidad ambiental y sus estándares

En los OEFA (2015) detalla que los siguientes materiales son esenciales:

- Filtros para capturar partículas.
- Cordones de seguridad.
- Escaleras o andamios para acceso a zonas elevadas.
- Equipos de Protección Individual (EPI) incluyendo cascos, arneses y botas.
- Conjunto básico de herramientas para mantenimiento y reparaciones.
- Documentos de cadena de custodia proporcionados por laboratorios.
- Pizarras para anotaciones y planificaciones.
- Dispositivos GPS para localización y mapeo.
- Cámaras fotográficas y de video para documentación y registros.
- Generadores eléctricos en áreas sin acceso a la red eléctrica.

3.2.1.9. Equipos de monitoreo de la calidad ambiental y sus estándares

Realizar el monitoreo del aire y su calidad es fundamental para obtener datos precisos y significativos que influyen las políticas para proteger el entorno y la salud.

Basado en el OEFA (2015), se utilizan diversos equipos para este fin:

- Muestreadores de alto volumen (Hi-Vol) para medir PM10.
- Muestreadores de bajo volumen (Lo-Vol) para medir PM 2.5
- Trenes de muestreo para la recolección de gases.
- Analizadores automáticos para detectar concentraciones de contaminantes gaseosos.
- Estaciones meteorológicas equipadas con anemómetro, psicrómetro, termómetro de bulbo seco y pluviómetro, y opcionalmente, los mismos que ayudan para la medición de la radiación solar, ultravioleta, y presión barométrica.

Según "Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de los Datos 2005" es importante que se asegure el manejo y transporte adecuado de las muestras según la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA).

3.2.1.10. Instituciones responsables del monitoreo de la calidad ambiental

El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2020), varias entidades son responsables de asegurar la observancia de la CA y el ECA:

- Ministerio del Ambiente MINAM: Lidera la implementación de directrices medioambientales, estableciendo y modificando límites máximos permisibles (LMP), y ratifica planes para la mejora en colaboración con comités regionales y municipios.
- Ministerio de Salud - DIGESA: Realiza diagnósticos, sugiere límites de alerta, declara emergencias ambientales y establece normas para acciones correctivas.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI): Proporciona datos climatológicos entregando diagnósticos.
- Autoridades sectoriales y el OEFA: Supervisan que se cumpla los ECA con la línea con los acuerdos medioambientales.
- Gobiernos locales: Las municipalidades provinciales y distritales establecen normas y supervisan la emisión de contaminantes atmosféricos.

3.2.1.11. Límite Máximo Permisible (LMP)

Representa su máxima concentración o su intensidad aceptable de algunos elementos, o características físicas, biológicas y químicas en emisiones (Finlayson & Pitts, 1999). Exceder estos límites implica riesgos Para el bienestar humano y del ecosistema. La obligación de monitorear y garantizar el cumplimiento de la normativa LMP recae en el Ministerio del Ambiente (MDA) y otras entidades de la Administración Ambiental. Establecidos por el MDA, los LMP son cruciales para alinear las emisiones con los niveles de protección ambiental requeridos, evitando así el deterioro de los ecosistemas. Estos valores, que deben ser estrictamente observados, sirven como

parámetros legales para el manejo de emisiones y su incumplimiento puede llevar a sanciones tanto judiciales como administrativas (Wieland, 2020).

Tabla 3

Límites regulados para emisiones gaseosas y partículas de actividades de hidrocarburos

PARÁMETRO REGULADO	Actividades de refinación de petróleo		Actividades de explotación	
	Refinación - Concentración en cualquier momento (mg/m3)	Refinación - Concentración media aritmética anual (mg/m3)	Explotación - Concentración en cualquier momento (mg/m3)	Explotación - Concentración media aritmética anual (mg/m3)
Dióxido de azufre (SO ₂)	2500	2000	1200	1000
Óxidos de nitrógeno (NO _x)	550	500	550	500
Partículas para craqueo catalítico (1)	400	300	.....	.....
Partículas para otros casos	150	100	150	100
Monóxido de carbono para craqueo catalítico	2000	1500	.....	.....

Fuente: Decreto Supremo DS N° 014-2010 del MINAM

Tabla 4

Límites regulados para emisiones gaseosas y partículas de actividades de hidrocarburos o instalaciones nuevas

PARÁMETRO REGULADO	Concentración en cualquier momento	
	Explotación en tierra	Actividad de procesamiento y refinación de petróleo
Compuestos orgánicos volátiles incluyendo el benceno (COV)	20	20
Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)	30	10
Óxido de azufre (Para producción de petróleo) (SO _x)	1000	...
Unidades de recuperación de azufre	...	150
Otras Unidades	...	500
Óxido de nitrógeno (NO _x) Usando gas como combustible	320 (0.86 ng/J)	
Usando petróleo como combustible	460 (0.130 ng/J)	
Níquel (Ni)		1
Vanadio (V)		5

Fuente: Decreto Supremo N° 014-2010-MINAM (2010)

3.2.1.12. Métodos de monitoreo de la calidad de aire

El monitoreo de la calidad del aire puede realizarse mediante diversas técnicas que varían en su complejidad y ámbito de aplicación. El muestreo activo, como lo describen Seinfeld & Pandis (2016), implica la recolección de partículas mediante filtros con ayuda de bombas de aire, proporcionando muestras detalladas para análisis en laboratorio. En contraste, los monitores de tiempo real señalados por Davis et al. (2014) permiten la detección inmediata de contaminantes mediante técnicas ópticas o de espectrometría, ofreciendo datos en tiempo real. Finalmente, los métodos pasivos propuestos por Wark et al. (1997), son eficaces para monitorear de forma continua sin necesidad de energía, resultando útiles en áreas con pocos recursos o de difícil acceso.

3.2.1.13. Índice Nacional de Calidad del Aire (INCA)

El INCA está basado en los límites permitidos indicados por el Decreto Supremo N° 003-2017 del MINAM, que se puede apreciar en la Tabla 2. Siendo para las PM 10 de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y PM 2,5 de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

3.2.1.14. Índice para la Calidad de Aire de Estados Unidos

El parámetro que mide las condiciones del aire (ICA) está basado en estándares definidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), la cual proporciona datos relevantes sobre la atmósfera y los posibles impactos en la salud humana. Según el Ministerio del Ambiente (2023), el índice se clasifica en:

Figura 1*Clasificación del estado de la calidad del aire*

ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE	ESTADO
0 – 50	BUENA
51 – 100	MODERADA
101 – 150	INSALUBRE PARA GRUPOS SENSIBLES
151 – 200	INSALUBRE
201 – 300	MUY INSALUBRE

Fuente: Ministerio del Ambiente (2023).

- **Buena (Tono verde, ICA de 0 a 50):** Indica que el aire es seguro, sin riesgos para la salud, ideal para realizar ciertas actividades al aire libre.
- **Moderada (Tono amarillo, ICA de 51 a 100):** Aconseja precaución a personas vulnerables a partículas contaminantes y sugiere limitar actividades extenuantes al aire libre.
- **Insalubre para Grupos Sensibles (Tono naranja, ICA de 101 a 150):** Advierte a personas con problemas cardíacos o respiratorios, adultos mayores y jóvenes para que minimicen esfuerzos intensos al aire libre y estén atentos a síntomas.
- **Insalubre (Tono rojo, ICA de 151 a 200):** Recomienda que toda la población sea cautelosa, limitando actividades intensas al aire libre, especialmente para los grupos vulnerables.
- **Muy Insalubre (Tono morado, ICA de 201 a 300):** Indica un nivel alto de precaución para todos, aconsejando evitar actividades físicas intensas al aire libre y preferir espacios interiores.

Para poder calcular individualmente cada contaminante, usando una fórmula específica que convierte la concentración del contaminante en un valor sin dimensiones uniforme para todos los contaminantes esta información se obtiene ICA. Este método permite comparar diferentes contaminantes en una base común y evaluar su presencia relativa en relación con las normativas vigentes. Según el CAME (2020), en la escala de ICA, un valor de 100 o menos indica una calidad del aire clasificada como "muy buena", "buena" o "aceptable" para actividades al aire libre.

La fórmula para calcular el ICA o AQI en sus siglas en inglés, involucra los siguientes términos:

$$\begin{aligned} \text{Si } j = 1 \quad ICA &= ICA_j \frac{C_m}{C_j} \\ \text{Si } j > 1 \quad ICA &= \frac{(ICA_j - ICA_{j-1})}{(C_j - C_{j-1})} \times (C_m - C_{j-1}) + ICA_{j-1} \end{aligned}$$

Las variables de las ecuaciones anteriores están de acuerdo a:

- C_m : concentración monitoreada del contaminante.
- ICA_j y ICA_{j-1} : índices correspondientes a las categorías j y $j-1$, respectivamente.
- C_j y C_{j-1} : concentraciones correspondientes al límite superior e inferior de la categoría j .

La fórmula para calcular el ICA o AQI en sus siglas en inglés, involucra los siguientes términos:

Las categorías basadas en la concentración varían desde "Muy buena" ($j=1$) hasta "Muy mala" ($j=5$). Para calcular el ICA, se predefinen la mayoría de los términos para cada categoría y contaminante, requiriendo solo la inclusión de la concentración detectada del contaminante. De todos los índices de calidad del Aire (ICA) calculados para cada contaminante, se selecciona el valor más alto como el indicador principal de la medición del aire y su calidad. Este método arroja una evaluación precisa y

demostrativa del estado actual del aire, facilitando que se puedan tomar decisiones he implementar medidas en la gestión ambiental (Ministerio de Sanidad, 2020).

3.2.1.15. Directiva Europea de Ambiente 2024

La directiva europea Relativa a La Calidad Del Aire Ambiente y a Una Atmósfera Más Limpia En Europa, 2008 tuvo como objetivos principales establecer estándares de CA con el propósito de evitar y reducir los impactos negativos en la salud humana y el medio ambiente. Para ello, se buscó evaluar la CA en los estados miembros utilizando métodos y criterios estandarizados, asegurando de esta manera una medición coherente y homogénea. Asimismo, la directiva buscó recopilar datos precisos sobre la calidad del aire, lo que facilitó una lucha más efectiva contra la contaminación atmosférica, permitió monitorear su evolución a largo plazo y observar las mejoras resultantes de las políticas tanto a nivel nacional como comunitario.

Definición de partículas y sus límites por la norma:

PM 10: Se refiere a aquellas partículas que tienen un tamaño aerodinámico de 10 micrómetros (μm) y son capturadas con una reducción del 50%. Esto indica que la mitad de las partículas con ese diámetro serán retenidas durante el proceso de muestreo, permitiendo una evaluación precisa de la proporción de partículas en el aire. Para PM10, se estimó un límite de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que establece un umbral de concentración que no debería superarse para resguardar la salud pública y el entorno (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2021).

PM 2,5: Se refiere a aquellas partículas que tienen un tamaño aerodinámico de 2,5 micrómetros (μm) y son capturadas con una reducción del 50%, lo que significa que la mitad de las partículas con este tamaño son retenidas durante el proceso de muestreo. Para PM2,5, se estimó un límite de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, estableciendo un umbral de concentración que no debería superarse para proteger la salud humana y minimizar los riesgos asociados a la exposición a estas partículas finas (OMS, 2021).

3.2.1.16. Directriz de la Organización Mundial de la Salud con respecto a la calidad de aire

La OMS (2021) establece directrices rigurosas para la CA con el objetivo principal de defender la salud pública. Los objetivos planteados por la OMS en este ámbito buscan disminuir la exposición de las personas a agentes contaminantes atmosféricos. Estas directrices se basan en Investigaciones científicas que establecen la asociación entre la exposición a estos contaminantes y el aumento en la incidencia de enfermedades respiratorias, cardiovasculares y otras afecciones graves. A través de la mejora de la CA, se pretende disminuir la carga global de dolencias asociadas a la polución, reducir la mortalidad prematura y mejorar el bienestar general de las comunidades a nivel mundial.

Límites para el material particulado de la OMS

En su actualización de 2021 estableció límites más estrictos para el nivel de partículas en suspensión en el aire, con la meta de cuidar la salud pública. Para las PM_{2,5}, la OMS recomienda un límite de 5 µg/m³ mientras que para las partículas más gruesas PM₁₀, el límite es de 15 µg/m³ (OMS, 2021).

3.2.1.17. Partículas

Las partículas en la atmósfera son pequeños corpúsculos sólidos o microgotas, compuestos por una diversidad de aerosoles y sólidos microscópicos de distintos orígenes y composiciones (García, et al., 2019). Estas sustancias pueden ser sólidas o líquidas y flotan en el aire, incluyendo elementos como cenizas, hollín, partículas metálicas, polen, cemento y polvo (SEMARNAT, 2013). Su origen varía entre procesos humanos, como la quema de carbón, y fenómenos naturales, como erupciones volcánicas. Las partículas difieren en tamaño, forma y propiedades químicas, y algunas pueden afectar negativamente la salud, alterar las propiedades atmosféricas frente a la luz solar o disminuir la visibilidad (Pequeño, et al., 2020).

Clasificación de las partículas

Según el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia [UNICEF] (2019) las partículas que mayormente contaminan el aire se clasifican de la siguiente manera:

Material particulado

Estas partículas, tanto sólidas como líquidas, se originan de diferentes fuentes. Son emitidas a la atmósfera (partículas primarias) para crear a partir de reacciones químicas en el aire (partículas secundarias). El tamaño de estas partículas, generalmente medido por su diámetro aerodinámico, y su composición química varían según su origen. La salud humana se ve mayormente afectada por la dimensión de partículas, y su capacidad para ingresar en el sistema respiratorio (Moreno-Ríos et al., 2021).

Estos fragmentos sólidos o líquidos, conocidos como "partículas en suspensión", varían en tamaño y composición. Se mide su concentración en mg o μg por m^3 de aire. Es fundamental considerar su diámetro; PM-10 se refiere a partículas con diámetros menores a 10 μm , y PM-2,5 a las de diámetro menor a 2,5 μm (OEFA, 2015). Estas partículas se clasifican según su diámetro aerodinámico, que determina su transporte, deposición y eliminación en el sistema respiratorio. Se han enfocado en partículas como PM_{0,1}, PM_{2,5} y PM₁₀ por sus propiedades y efectos (Ministerio de Salud y Protección Social, 2023):

- PM_{0,1}: Partículas ultrafinas con un diámetro aerodinámico de hasta 0.1 μm , formadas por nucleación y que pueden crecer hasta 1 μm (Scheitel, et al., 2020).
- PM₁₀: Partículas menores a 10 micras que incluyen sulfatos, nitratos, amoníaco, cloruro de sodio y carbono negro, capaces de obstruir las vías bronquiales (UNICEF, 2019).
- PM_{2,5}: Con un diámetro menor a 2,5 micras, provienen principalmente de la combustión de combustibles fósiles y procesos industriales. El carbono negro

es un componente dañino de PM_{2,5}, asociado a múltiples muertes anuales. La quema de combustibles sólidos también es una fuente importante. En muchas ciudades, los valores de PM_{2,5} superan las recomendaciones de la OMS, ya que estas partículas son potencialmente más perjudiciales que PM₁₀ por su capacidad de entrar en el torrente sanguíneo (UNICEF, 2019).

3.2.1.18. Consecuencias de la exposición a partículas

La exposición a cualquier partícula en el aire, incluso en niveles considerados aceptables, puede tener repercusiones significativas tanto para individuos sensibles (como aquellos con asma o problemas respiratorios) como para el entorno, incluyendo aspectos bióticos y abióticos (INSIVUMEH, 2022).

Repercusiones en la Salud

Los contaminantes aéreos, dependiendo de su concentración, están asociados con diversos problemas de salud. Las partículas, en particular, pueden transportar sustancias nocivas como metales pesados e hidrocarburos hasta los pulmones. Estar expuesto en tiempo muy largos a estas partículas incrementa el problema de contraer problemas cardíacos, pulmonares incluso cánceres pulmonares. Para poder evaluar este tipo de riesgos tenemos al Índice Nacional de Calidad del Aire (ICA) la misma que nos ayuda a evaluar estas problemáticas. El indicador de Años de Vida Ajustados por Discapacidad, ayuda a entender el impacto de estos contaminantes, representando la combinación de años vividos con discapacidad y años de vida truncados a causa de enfermedades relacionadas con la exposición a partículas como PM₁₀ (INSIVUMEH, 2022).

Efectos en Ecosistemas Terrestres

Las partículas depositadas en ecosistemas pueden tener efectos adversos que varían según su composición química y la resistencia del ecosistema. Estos efectos pueden crear alteraciones en el suelo y su salinidad, reducir el proceso de fotosíntesis, desarrollo y procesos reproductivos de las plantas, y disminución de la visibilidad, especialmente en áreas urbanas e industrializadas (INSIVUMEH, 2022).

Impacto en Construcciones y Edificios

Las partículas también pueden dañar edificaciones y construcciones. El polvo acumulado requiere mayor mantenimiento y puede provocar desgaste prematuro, especialmente en equipos delicados. Esta acumulación puede causar malfuncionamientos o desgastes anticipados en dichos equipos (INSIVUMEH, 2022).

Cambio Climático y su relación con la calidad del aire

Las partículas dependiendo su origen tienen un impacto significativo en el clima, a pesar de tener una vida útil más corta que otros contaminantes como los gases de efecto invernadero. Por ello, las partículas afectan al clima directamente al dispersar y absorber la radiación solar, y de forma indirecta al modificar las propiedades de las nubes. Además, al absorber radiación solar, contribuyen al calentamiento global, de manera similar a los gases de efecto invernadero (INSIVUMEH, 2022).

3.3. Definición de términos

- **Avance Ambiental:** Implica la adopción de enfoques integrales en la gestión de recursos naturales y energía, considerando aspectos temporales y espaciales, y la interacción entre urbanización y gobernanza (Santibáñez et al., 2022).
- **Contaminación ambiental:** Presencia en el ambiente de componentes nocivos biológicos, físicos o químicos, que causan daños a seres vivos y afectan en la vida y en mantener un ambiente ecológico equilibrado. Incluye una variedad de fuentes y contaminantes, impactando espacios abiertos y cerrados (CAMFIL, 2020).
- **Contaminación atmosférica:** Es toda la atmósfera, incluyendo en ella sustancias nocivas, y contaminación originada en la naturaleza o por el hombre, y en concentraciones y duración que afectan negativamente la calidad de vida, el medio ambiente, la salud, y el bienestar de manera general (Mnisterio del Ambiente, 2020).

- SO₂: Es un gas resultante del uso de combustibles fósiles, tipo de contaminación que irrita la salud del aparato respiratorio y afecta la salud visual, precursor de la lluvia ácida, y es corrosivo para los diferentes tipos de materiales (Moreno-Ríos et al., 2021; Ministerio de Salud y Protección Social, 2023; UNICEF, 2019).
- NO₂: Es un gas irritante para las vías respiratorias y los ojos que favorece la formación de lluvia ácida, y el smog (Moreno-Ríos et al., 2021; Ministerio de Salud y Protección Social, 2023).
- Efecto Ambiental Grave: Efecto de tipo superior a los límites tolerables que lleva a una exposición permanente no recuperable de la contaminación del medio ambiente (Paredes et al., 2020).
- Entorno Físico: Conjunto de factores y fenómenos físicos del medio ambiente, incluyendo factores climáticos, físicos, fenómenos geológicos, entre otros (González, 2020).
- Material particulado: Son partículas sólidas y líquidas de un material que suelen agruparse y ser liberadas al aire, vienen de motores diésel, de tráfico vehicular, actividades agrícolas y procesos productivos, es un contaminante importante por sus efectos negativos sobre la salud respiratoria y cardiovascular (Querol, 2020).
- Monóxido de Carbono (CO): Es un gas sin color, ligero, generado durante la combustión parcial del carbón, es altamente peligroso y es un interferente en la absorción de oxígeno de nuestro cuerpo (Moreno-Ríos et al., 2021; Ministerio de Salud y Protección Social, 2023; UNICEF, 2019).
- Ozono (O₃): Contaminante que es un producto de la reacción fotoquímica, necesario en las capas más altas de la atmósfera, pero perjudicial a nivel del suelo, por su relación con problemas respiratorios (Moreno-Ríos et al., 2021; Ministerio de Salud y Protección Social, 2023).

- Partículas: pequeños sólidos o líquidos presentes en el aire, como polvo, líquidos, elementos a la vista como esmog, etc., es decir, humo, hollín, etc. (USEPA, 2023).
- PM10: partículas con un diámetro de $\leq 10 \mu\text{m}$, como polvo fino o partículas orgánicas no tan finas que pueden entrar por el sistema respiratorio y derivar en problemas de salud (CAMFIL, 2020).
- PM2,5: partículas con un tamaño de $\leq 2,5 \mu\text{m}$, como esporas o polen, que, debido a su propio tamaño, pueden ingresar en los pulmones y el sistema sanguíneo, con la consiguiente alta peligrosidad para la salud (CAMFIL, 2020).
- Muestreador de Partículas Hi - Vol. Un aparato capaz de captar un gran volumen de aire durante un determinado tiempo, que permite extraer la información sobre las partículas en suspensión y la detección de contaminantes atmosféricos. La información mediante muestras es recogida, se analiza y posteriormente la información es lleva al laboratorio para su análisis último.

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de investigación

Según Mendoza & Avila (2020) la presente investigación es de carácter cuantitativo, porque permite la obtención de datos para probar la hipótesis de manera numérica, con el objetivo de instaurar un patrón de comportamiento.

A su vez, Acosta (2023) indican que el tipo de investigación es de carácter descriptivo – correlacional, dado que permite explicar en nivel y determinar el vínculo entre las variables de la evaluación de la calidad de aire y análisis de partículas generadas por la trocha carrozable en la Comunidad Campesina de Pillao Matao del Distrito de San Jerónimo – 2023.

Por último, el método de la investigación es de tipo no experimental, ya que como Mendoza & Avila (2020) menciona que, este permite examinar y estudiar el comportamiento de las variables investigadas tal como se da en su contexto, no realizará manipulación de las variables. Dentro de su subcategoría, sería transversal, puesto que en dicha investigación se aplica y recopila información en un solo momento y en un corte de tiempo determinado.

4.2. Ámbito Temporal y espacial

4.2.1. Temporal

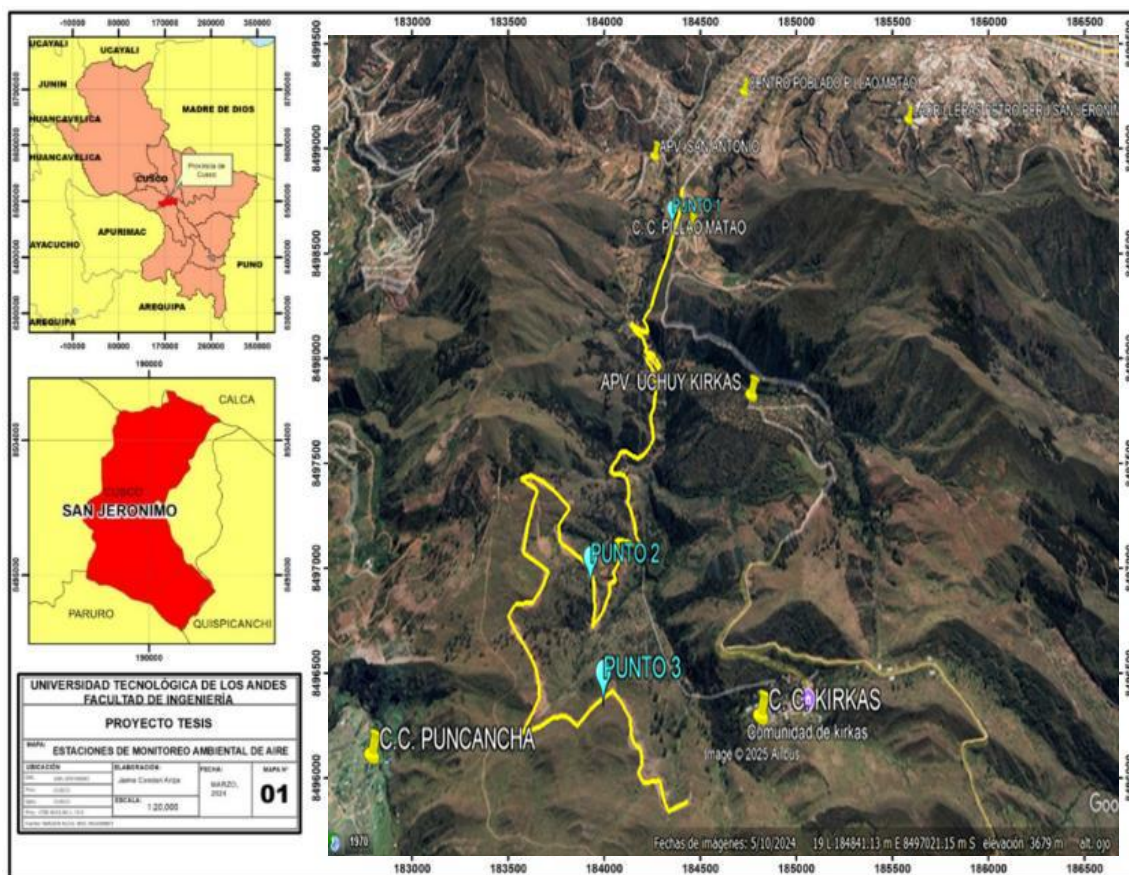
El trabajo se realizó a lo largo del año 2023 y parte del 2024. Este período temporal se seleccionó con el propósito de obtener datos y observaciones relevantes durante un ciclo completo, lo que permitió analizar cualquier variabilidad estacional del aire relacionado con la trocha carrozable.

4.2.2. Espacial

Se establece el ámbito espacial del estudio exclusivamente en la comunidad campesina Pillao Matao, que está ubicada dentro del distrito de San Jerónimo. Esta área geográfica específica proporciona el contexto central para la investigación y permitió una comprensión detallada de cómo la presencia de una trocha carrozable afecta la calidad del aire en esta área específica.

Figura 2

Ubicación de los puntos de monitoreo



Fuente: Elaboración propia

Se muestran los sitios de monitoreo que fueron seleccionados para efectuar el estudio de la pureza de aire según las condiciones meteorológicas y las PM 2,5 y PM 10.

4.3. Población y muestra

Para la definición de la población de estudio, se consideró el tramo de 6.224 metros de una trocha carrozable ubicada en el Distrito de San Jerónimo - Cusco. En esta zona, se identificaron 17 hogares que se encuentran expuestos a las condiciones

de calidad del aire influenciadas por el tránsito vehicular. La emisión de material particulado derivada del uso constante de esta vía sin pavimentar representa un factor de riesgo para la salud de los habitantes, lo que hace relevante el estudio en este sector.

La selección de la muestra en este estudio se realizó en cumplimiento con el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire (2019), el cual establece lineamientos técnicos para garantizar la representatividad y validez de los datos obtenidos. De acuerdo con este protocolo, se siguieron criterios específicos para la frecuencia y duración del monitoreo, asegurando que los puntos de muestreo reflejen de manera precisa la calidad del aire en la zona de estudio.

De acuerdo a la tabla 5 para este estudio, se empleó una metodología manual y discontinua, alineada con los estándares nacionales, utilizando 6 muestras de filtro de aire recolectadas en tres puntos estratégicos. Estos puntos fueron seleccionados en función de su relevancia en la dispersión de material particulado y su representatividad en la dinámica ambiental de la zona de influencia. Además, el muestreo se realizó en dos temporadas diferenciadas: tres muestras en temporada de lluvias y tres en temporada seca, lo que permite una evaluación comparativa de la variabilidad en la concentración de contaminantes bajo diferentes condiciones climáticas.

tabla 5

Requisito de frecuencia y periodos de monitoreo para redes vinculadas a planes de acción para mejora de la calidad de aire

Tipo de tecnología	Tipo de promedio base del ECA	Periodo de monitoreo	Mínima suficiencia de información válida requerida	Frecuencia mínima por muestra o registro
Automática	Continuo	1 horas	>75% (45 minutos)	Continua
Automática	Continuo	8 horas	>75% (6 hora)	Continua
Automática	Continuo	24 horas	>75% (18 horas)	Continua
Automática	Continuo	Mensual	>75% (23 días)	Continua
Automática	Continuo	Anual	>75% (9 meses)	Continua
Automática	Manual	24 horas	>75% (5 muestreos)	Una muestra horaria cada 6

Automática	Anual	24 horas	>90% (225 muestreos)	Una muestra diaria cada 6
Manual	Discontinuo	>14% (6 días)	6 muestras de filtro de aire recolectadas en tres puntos estratégicos	3 muestras en temporada de lluvias y 3 en temporada seca
Manual	Discontinuo	>14%(2 meses)	6 muestras de filtro de aire recolectadas en tres puntos estratégicos	3 muestras en temporada de lluvias y 3 en temporada seca

Fuente: Basado en EPA-454/B-17-001 (2017) y la directiva 2008/50/CE

4.3.1. Parámetros evaluados.

Fueron evaluados de acuerdo a lo planteado en la presente investigación, donde se detalla a continuación:

Tabla 6
Parámetros Evaluados

<i>PARAMETRO</i>	<i>METODO DE</i>		<i>TIPO DE MUESTREO</i>
	<i>MUESTREO / EQUIPO</i>	<i>METODO DE ANALISIS</i>	
Material particulado	<i>HI – VOL</i>	<i>EPA/625/R – 96/010a</i>	24 horas
Material particulado	<i>Lo – Vol</i>	<i>EPA CFR 40 Appendix L</i>	24 horas

Fuente: Elaboración propia

4.3.2. Ubicación de los puntos de monitoreo

Tabla 7
Ubicación de los puntos de monitoreo

<i>Estación de monitoreo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Coordenadas UTM</i>			
		<i>Este</i>	<i>Norte</i>	<i>Altitud m. s. n. m.</i>	<i>Zona</i>
EA-01	Km 0-2000	184300	8498662	3400	19L
EA-02	Km 2000-4000	184026	8496582	3684	19L
EA-03	Km 4000-6224	184833	8496358	3764	19L

Fuente: Elaboración propia

4.4. Instrumentos

Ciertos instrumentos de investigación facilitan la recopilación eficiente de data, minimizando tiempo y esfuerzo. Su aplicación constante y sistemática contribuye a la credibilidad científica del trabajo (Tolentino, 2021). Los instrumentos utilizados fueron:

- Ficha de Observación: Un instrumento estructurado que permitió anotar y recopilar datos en campo, con campos específicos para registrar detalles como tipo y cantidad de vehículos, condiciones climáticas y presencia de fuentes de contaminación.

4.5. Procedimientos

Los procedimientos relacionados con la investigación establecen un esquema detallado para recopilar y analizar información, permitiendo evaluar las condiciones del aire en la Comunidad Campesina de Pillao Matao. El estudio se desarrolló en varias etapas organizadas de la siguiente manera:

- i. Selección de los puntos de monitoreo
 - Se determinaron tres puntos estratégicos de observación en la comunidad, basándose en la proximidad a la trocha carrozable y la exposición a fuentes de emisión de material particulado.
 - La selección de los sitios se realizó por conveniencia, teniendo en cuenta la accesibilidad y la representatividad de las condiciones ambientales.
- ii. Instalación de equipos de monitoreo
 - Se instaló una estación climática en cada punto de observación para registrar las características del entorno (temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento).
 - Se empleó dos estaciones Hi-Vol y Lo-vol, para medir la cantidad de material de partículas PM_{2.5} y PM₁₀ mediante filtros especializados.
 - La calibración y activación de los dispositivos se llevó a cabo conforme a las regulaciones ambientales establecidas.

iii. Medición de material particulado y condiciones meteorológicas

- Se realizaron mediciones diarias durante un periodo determinado para obtener datos representativos en distintas condiciones climáticas.
- Se recopilaron registros de PM_{2.5} y PM₁₀ siguiendo la Norma 40 CFR Parte 50, Apéndice L y la Norma 625 R-96 010a.
- Se determinó la trayectoria del viento para determinar la dispersión del material particulado.

iv. Encuesta sobre riesgo en la salud

- Se realizaron cuestionarios a los pobladores de la zona para evaluar su percepción sobre las repercusiones del material particulado en su bienestar.
- Se incluyeron preguntas sobre síntomas respiratorios, afecciones cardiovasculares y frecuencia de enfermedades relacionadas con la contaminación del aire.

v. Análisis y procesamiento de datos

- Se organizaron y procesaron los datos obtenidos en bases de datos estructuradas.
- Se realizó una clasificación de las mediciones según las normativas de calidad ambiental nacionales e internacionales.
- Se llevaron a cabo comparaciones entre los niveles de PM_{2.5} y PM₁₀ en diversas estaciones climáticas (seca y lluviosa).

vi. Comparación con estándares de calidad ambiental

- Se contrastaron los valores obtenidos con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) nacionales y las normativas internacionales de la OMS y la EPA.
- Se evaluó el cumplimiento de los límites establecidos y se identificaron posibles excedencias.

vii. Análisis e interpretación de resultados

- Se establecieron correlaciones entre la cantidad de partículas en el aire y las condiciones climáticas.
- Se interpretaron los hallazgos en función de los potenciales efectos en la salud de la población y el entorno.
- Se generaron conclusiones y recomendaciones en base a la evidencia recopilada.

4.6. Consideraciones éticas

Esta investigación se realizó en estricta adherencia a los estándares éticos establecidos por las directrices de la Asociación Americana de Psicología (APA) y a las regulaciones de la universidad, garantizando la honestidad y la consideración por los derechos y la dignidad de los participantes. Del mismo modo, se aseguró los beneficios obtenidos sean distribuidos de manera justa y equitativa. Además, se obtuvo la autorización informada de los sujetos del estudio y se mantuvo la reserva y anonimato de la información recopilada.

V. Resultados y discusión

5.1. Resultados

5.1.1. Dirección y velocidad promedio anual del viento en cusco.

Tabla 8

Dirección y velocidad promedio anual del viento en cusco

Departamento	2008	2009	2010	2011	2012 2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020 2021 2022
Amazonas	W -3	W -3	W -3	W -3	W - 3 W -3,1	W -3,1	W -3,4	W -3,2	W -2,5	W -1,6	W -2,5	W - 3,4 W -3,1 W -3,4
Áncash	N - 2	N - 2	N - 3	N - 1	NE - 2 N -1,4	...	NW -2,3	NW -2,3	...	NE -2,4	N -3,0	a/N -2,2 N -1,1
Apurímac	N - 2	N - 3	NE -2,3	NE -1	.....	...	C - 0	C - 0	C -0,0	C -0,0	C -0,6	a/S -1,7 C -0,0
Arequipa	W -5	W -4	WSW -4	WSW -4	WSW -4 NNW -4,0	...	SW -3,5	SW -4,3	SW -4,5	SW -4,6	SW -4,7	SW -4,9 SW -4,9 S -5,0
Ayacucho	NE -3	NE -3	N - 3	NE -2	NE -2 NE -2,0	NE -1,7	NE -1,8	NE -2,5	...	SW -0,8	SW -0,7	SW -0,7 SW -0,8 SW -1
Cajamarca	S - 1	S - 2	S - 1	S - 1	S - 1 E -0,8	...	E -1,0	E -1,1	E -1,1	SE -1,3	E -1,2	E - 1,8 E -1,4 E -1,4
Cusco	NE -2	NE -2	NE -2	NE -2	NE -2 NE -2,1	...	NE -2,2	NE -1,8	SE -1,8	S -2,0	N -2,2	N - 1,8 NE -1,8 N -1,5
Huancavelica	E - 7	E - 7	E - 5	W -2	E - 3 W -3,1	W -3,3	W -4,1	W -4,3	NW -4,2	W -3,4	NW -3,5	W - 2,7 E -2,5 E -3,0
Huánuco	N - 4	N - 4	NW -4	NW -4	N - 4 NE -3,7	...	NE -4,2	N -4,1	...	N -4,3	NE -4,6	N - 4,9 NE -5,0 NE -5,3
Ica	SE -3	SE -5	SE -5	SE -6	SE -2 SE -2,8	SE -2,4	SE -2,2	SE -2,2	SE -2,1	SE -1,8	SE -2,8	SE - 3,3 SE -2,4 SE -2,2
Junín	SE -2	W -2	SE -2	SE -2	SE -2 SE -1,9	SE -2,0	SE -1,9	SE -1,9	W -2,6	W -2,2	W -2,3	W - 2,2 SE -2,0 SE -1,9
La Libertad	S - 3	S - 3	S - 4	S - 4	WSW -4 S -3,8	...	...	...	S -3,7	W -3,2	W -3,0	W - 3,5 W -3,0 W -3,1
Lambayeque	...	...	...	S - 4	S - 4 S -3,9	S -3,4	...	...	...	SSE -4,3	SSE -4,4	SSE -4,5 SSE -4,5 ...
Lima	SW -1	SW -1	SW -1	SW -1	SW -1 SW -1,5	SW -1,5	SW -1,7	SW -1,7	SW -1,7	SW -1,5	SW -1,9	SW -1,5 SSW -2,1 SW -2,3
Loreto	...	...	...	...	.....	NE -2,6	E -0,6	E -1,4	...	E -1,5	E -1,7	E - 1,9 E -2,0 E -2,0
Madre de Dios	W -3	NE -3	...	C - 0	.....	...	...	C - 0	C -0,0	C -0,0	C -0,0	C - 0,0 C -0,0 C -0,0
Moquegua	SW -2	SW -2	SW -2	S - 2	SW -1 SW -1,1	S -1,1	SW -1,8	SW -1,8	SW -1,8	SW -1,7	SW -1,9	SW -1,9 NNE -1,8 SW -1,9
Pasco	NE -2	NE -2	NE -2	NE -2	NE -2 NE -2,0	NE -1,6	NE -2,0	NE -2,0	...	NE -2,1	NE -2,4	a/ a/ NE -2,8

<i>Piura</i>	<i>S</i> - 2	<i>S</i> - 2	<i>S</i> - 2	<i>S</i> - 2	<i>S</i> - 2 <i>S</i>	<i>S</i>	<i>S</i>	<i>S</i>	<i>S</i>	<i>S</i>	<i>S</i>	<i>S</i>	<i>a/ SW</i> - 4,0 <i>SW</i> - 4,4
<i>Puno</i>	<i>W</i> - 2	<i>E</i> - 2	<i>E</i> - 2	<i>S</i> - 2	<i>E</i> - 2,0 <i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>a/ WNW</i> - 2,6 <i>WNW</i> - 2,7
<i>San Martín</i>	<i>E</i> - 2	<i>E</i> - 2	<i>E</i> - 2	<i>E</i> - 2	<i>E</i> - 2,0 <i>E</i>	<i>W</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>a/ E</i> - 1,0 <i>E</i> - 1,6
<i>Tacna</i>	<i>SW</i> - 2	<i>SW</i> - 2	<i>SW</i> - 2	<i>SW</i> - 2	<i>SW</i> - 2 <i>SW</i>	<i>SW</i>	<i>SW</i>	<i>SW</i>	<i>SW</i>	<i>SW</i>	<i>SW</i>	<i>SW</i>	<i>SW</i> - 2,2 <i>WSW</i> - 2,2 <i>SW</i> - 2,3
<i>Tumbes</i>	<i>NE</i> - 1	<i>SW</i> - 1	<i>NW</i> - 1	<i>NW</i> - 1	<i>SW</i> - 2 <i>NE</i>	<i>NE</i>	<i>SW</i>	<i>S</i>	...	<i>NE</i>	<i>W</i>	<i>W</i>	<i>a/ SW</i> - 3,5 <i>SW</i> - 3,7
<i>Ucayali</i>	<i>E</i> - 1	<i>N</i> - 1	<i>N</i> - 1	<i>N</i> - 1	<i>N</i> - 1 <i>C</i>	<i>N</i>	<i>NE</i>	<i>NE</i>	<i>NE</i>	<i>E</i>	<i>NE</i>	<i>NE</i>	<i>a/ N</i> - 1,2 <i>SW</i> - 1,0

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

Según la información publicada en anuario de estadísticas ambientales (INEI) para los años 2021 y 2022, que refieren datos del SENAMHI, que la dirección predominante del flujo de aire se orientó hacia el noreste (NE) con una velocidad de 1.8 y hacia el norte (N) con una intensidad de 1.5. Esta información es relevante, ya que sugiere que los vientos en estas direcciones desempeñaron un papel crucial en la movilización de partículas en la atmósfera del área de estudio.

El predominio de estos vientos indica que las condiciones atmosféricas favorecieron el transporte de material particulado, lo cual puede tener implicaciones en la pureza del aire y en los fenómenos meteorológicos de la zona. La capacidad de los vientos para desplazar partículas es fundamental para entender procesos como la dispersión de contaminantes y la interacción ambiental en general. Por lo tanto, el análisis de estas tendencias es esencial para la administración ambiental y la salud colectiva.

5.1.2. Datos meteorológicos en temporada de lluvia

En las tablas a continuación se detallan los datos obtenidos por el muestreo en campo.

Tabla 9

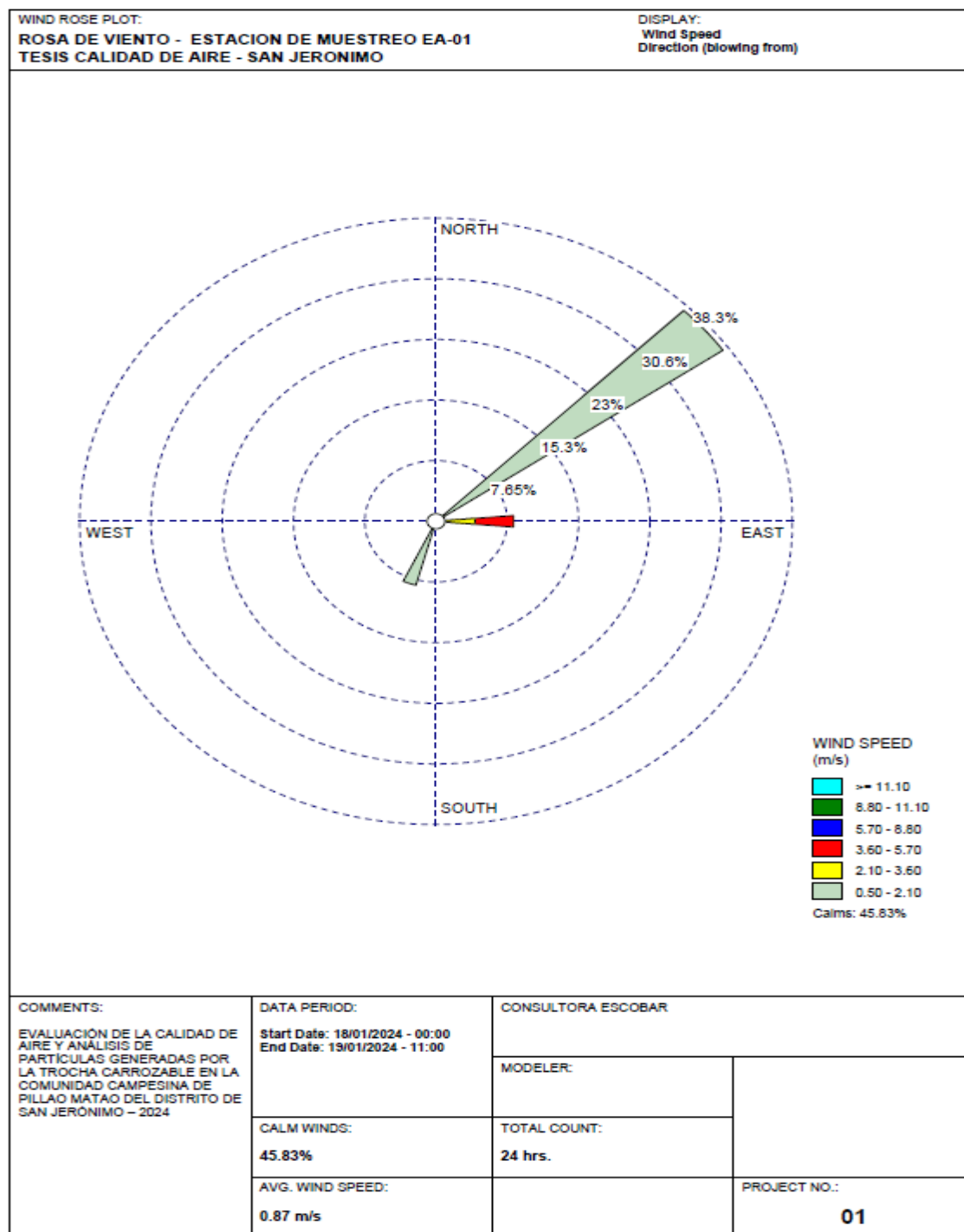
Datos meteorológicos de la estación de aire EA-01 (km 0+000 - km 2+000) el 27-03-24 por 24 horas

PARAMETROS METEREOLÓGICOS						
Código:		EA-01	Coordenadas UTM:		184300 E	8498662 N
Estación de muestreo:			km 0+000 - km 2+000	Fecha:	27/03/2024	Altitud:3400
Niveles	Temperatura Ambiental (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad de Viento (m/s)	Dirección del Viento (°)	Presión Atmosférica (mmHg)	Precipitación (mm) Total
Máximo	23,4	91,0	4,5	....	501,8	0,3
Mínimo	10,2	41,0	0,0	....	500,0	0,1
Promedio	14,0	76,6	1,0	....	501,1	0,6

Fuente: Elaboración propia

La estación de muestreo EA-01 (km 0+000 - km 2+000) reportó según los datos de la Tabla 44, procesados en la Tabla 9, una temperatura entre 23,4°C y 10,2°C tendiendo un promedio de 14,0°C con una humedad promedio de 76,6%, se presencia barloventos y sotaventos con dirección oeste a este respectivamente con velocidad de viento promedio de 1,0m/s. Además, se obtuvo una precipitación total de 0,6 mm en la zona establecida.

Figura 3
Rosa de viento de la EA-01 en temporada de lluvia



Fuente: Elaboración propia

El sector noreste presentó un segmento radial más largo, lo que indica que la movilización de partículas por viento predominó hacia esa dirección.

Tabla 10

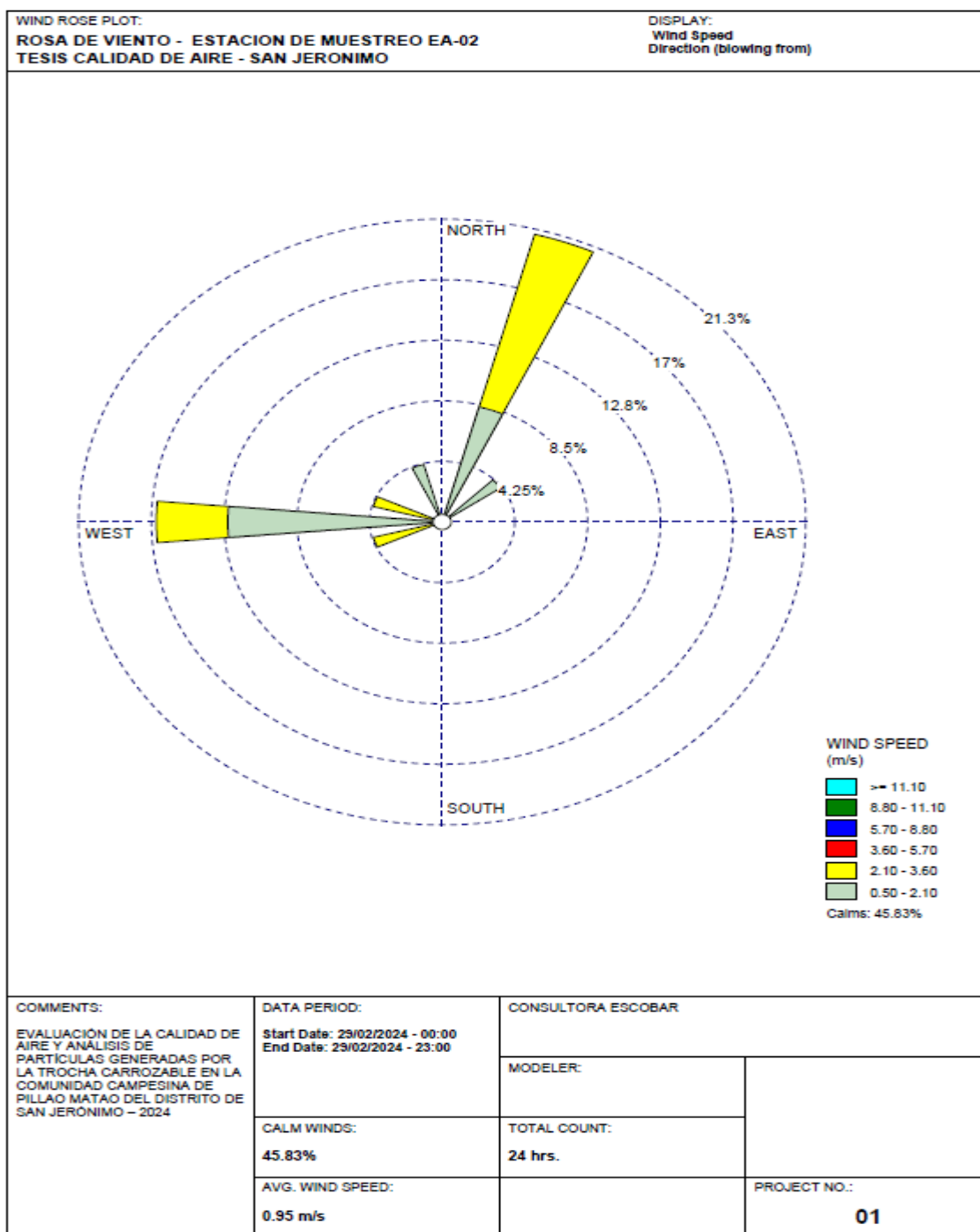
Datos meteorológicos de la estación de aire EA-02 (km 2+000 - km 4+000) el 28-03-24 por 24 horas

PARAMETROS METEREOLÓGICOS						
Código:		EA-02	Coordenadas UTM:		184026 E	8496582 N
Estación de muestreo:			km 2+000 - km 4+000	Fecha:	28/03/2024	Altitud:3684
Niveles	Temperatura Ambiental (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad de Viento (m/s)	Dirección del Viento (°)	Presión Atmosférica (mmHg)	Precipitación (mm)
Máximo	22,8	85,0	2,7	....	489,6	0,0
Mínimo	7,2	42,0	0,0	....	487,8	0,0
Promedio	16,0	61,7	1,1	....	488,9	0,0

Fuente: Elaboración propia

La estación de muestreo EA-02 (km 2+000 - km 4+000) reportó según los datos de la Tabla 45, procesados en la Tabla 10, una temperatura entre 22,8°C y 7,2°C tendiendo un promedio de 16,0°C con una humedad promedio de 61,7%, se presencia barloventos y sotaventos con dirección noreste a suroeste respectivamente con una velocidad promedio del viento promedio de 1,1m/s. No se presentó precipitación en la zona establecida.

Figura 4
Rosa de viento de la EA-02 en temporada de lluvia



Fuente: Elaboración propia

Los sectores noreste y oeste presentaron segmentos radiales significativos, lo cual quiere decir que el movimiento del viento presentó cambios de dirección y por lo tanto las partículas movidas se esparcen entre esas direcciones.

Tabla 11

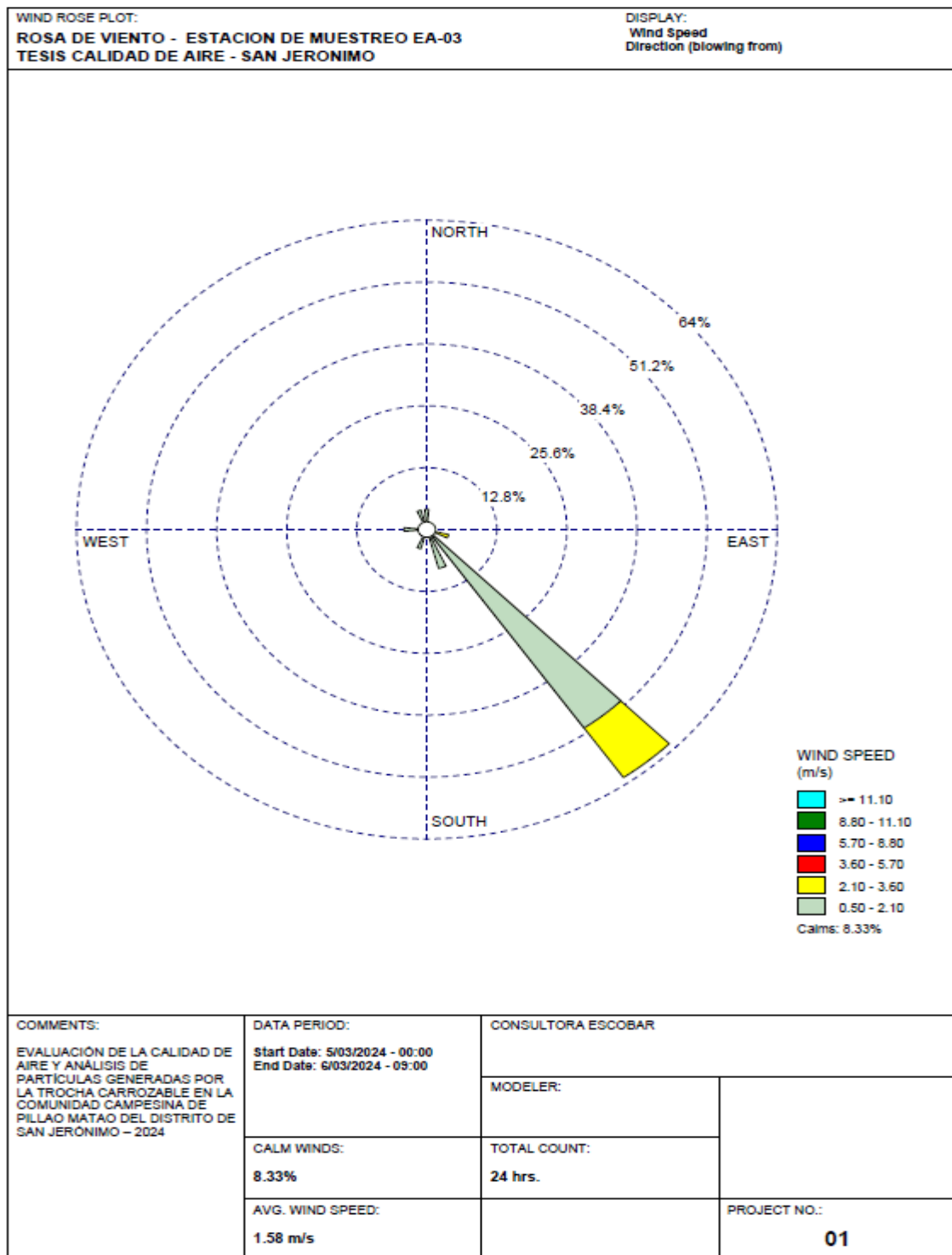
Datos meteorológicos de la estación de aire EA-03 (km 4+000 - km 6+224) el 29-03-24 por 24 horas

PARAMETROS METEREOLÓGICOS						
Código:		EA-03	Coordenadas UTM:		183833 E	8496358 N
Estación de muestreo:		km 4+000 - km 6+224	Fecha:		29/03/2024	Altitud:3764
Niveles	Temperatura Ambiental (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad de Viento (m/s)	Dirección del Viento (°)	Presión Atmosférica (mmHg)	Precipitación (mm)
Máximo	19,3	85,0	2,7	....	480,7	0,0
Mínimo	8,3	8,0	0,4	....	477,7	0,0
Promedio	13,9	54,7	1,6	....	479,1	0,0

Fuente: Elaboración propia

La estación de muestreo EA-03 (km 4+000 - km 6+224) reportó según los datos de la Tabla 46, procesados en la Tabla 11 una temperatura entre 19,3°C y 8,3°C tendiendo un promedio de 13,9°C con una humedad promedio de 54,7%, se presencia barloventos y sotavientos con dirección sureste con velocidad de viento promedio de 1,6m/s. No se presentó precipitación en la zona establecida.

Figura 5
Rosa de viento de la EA-03 en temporada de lluvia



Fuente: Elaboración propia

El sector sureste tiene un segmento radial más largo, por lo que el arrastre de partículas por el viento fue más predominante en esa dirección.

5.1.3. Datos meteorológicos en temporada seca

En las tablas presentadas a continuación se detallan las mediciones recogidas por el muestreo en campo en temporada seca.

Tabla 12

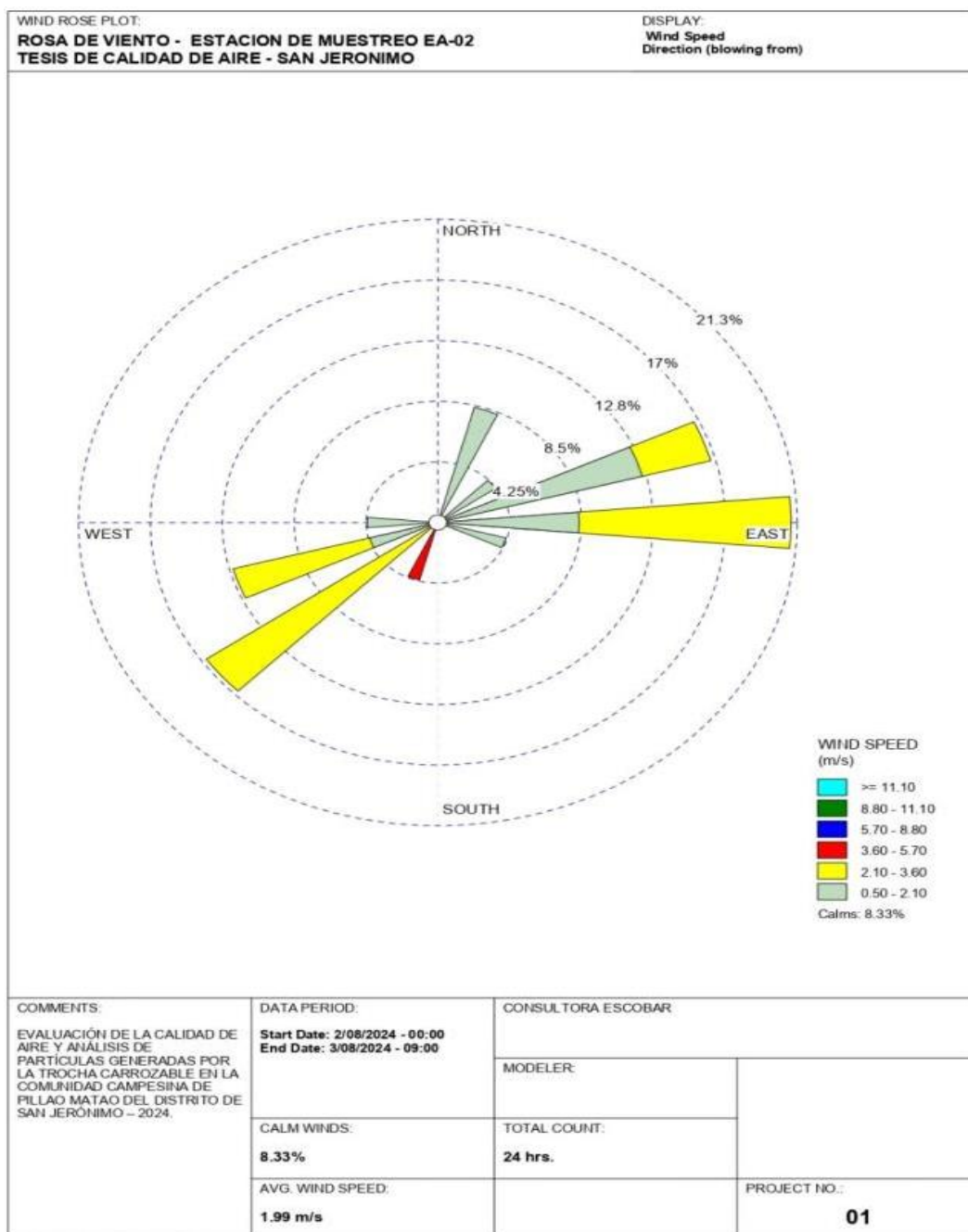
Datos meteorológicos de la estación de aire EA-01 (km 0+000 - km 2+000) el 01-08-24 por 24 horas

PARAMETROS METEREOLÓGICOS						
Código:		EA-01	Coordenadas UTM:		184300 E	8498662 N
Estación de muestreo:			km 0+000 - km 2+000	Fecha:	27/03/2024	Altitud:3400
Niveles	Temperatura Ambiental (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad de Viento (m/s)	Dirección del Viento (°)	Presión Atmosférica (mmHg)	Precipitación (mm) Total
Máximo	24,2	76,0	5,3	....	500,3	0,0
Mínimo	1,5	48,0	0,8	....	498,5	0,0
Promedio	13,3	59,0	1,8	....	499,6	0,0

Fuente: Elaboración propia

La estación de muestreo EA-01 (km 0+000 - km 2+000) reportó según los datos de la Tabla 47, procesados en la Tabla 12, una temperatura entre 24,2°C y 1,5°C tendiendo un promedio de 13,3 °C con una humedad promedio de 59%, se presencia barloventos y sotaventos con dirección oeste a este respectivamente con velocidad de viento promedio de 1,8m/s. Además, no se obtuvo una precipitación en la zona establecida.

Figura 6
Rosa de viento de la EA-01 en temporada seca



Fuente: Elaboración propia

El sector este y sur este, presentaron segmentos radiales más largos lo cual quiere decir que el movimiento del viento presentó cambios de dirección y por lo tanto las partículas movidas se esparcen entre esas direcciones.

Tabla 13

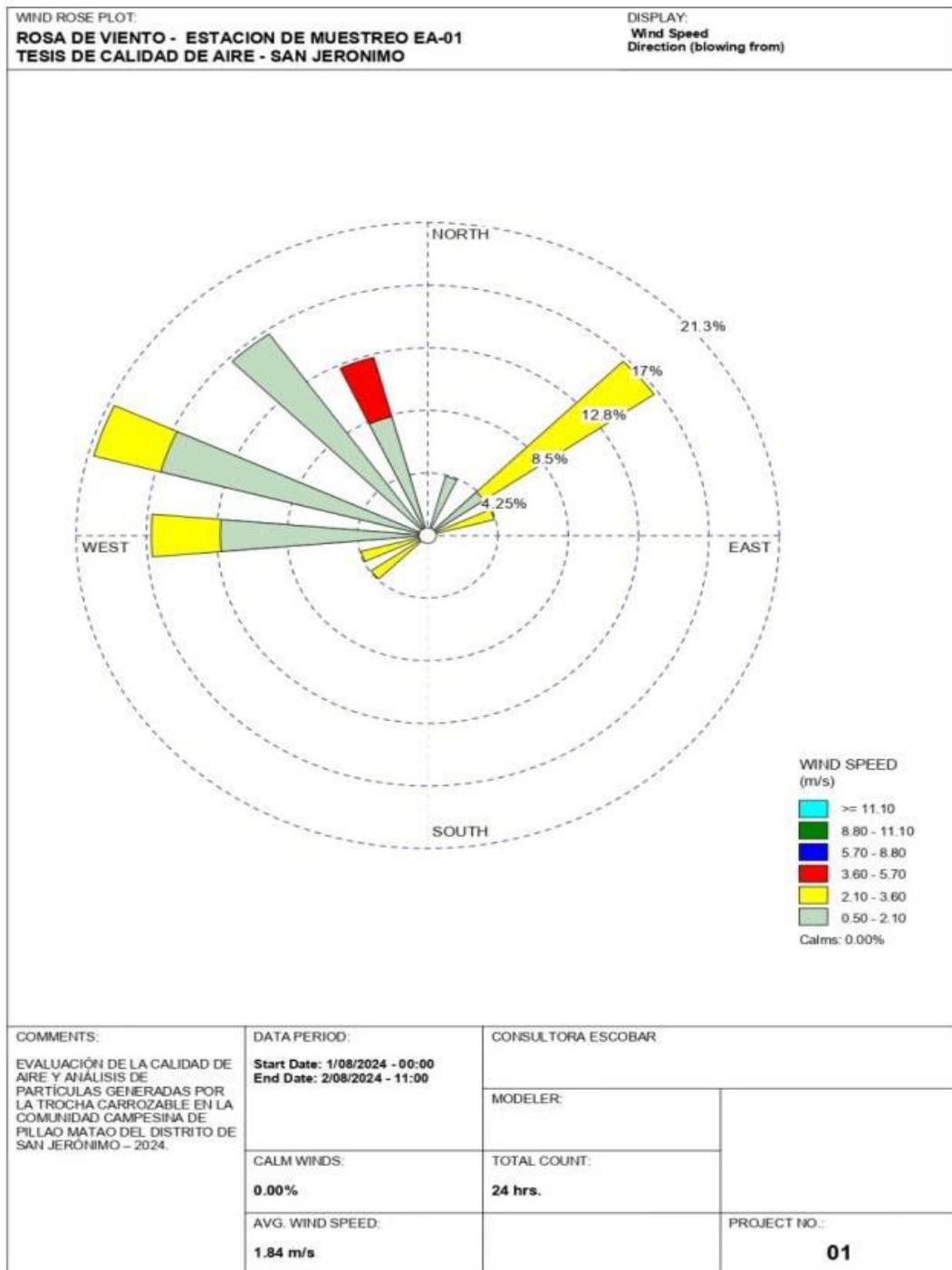
Datos meteorológicos de la estación de aire EA-02 (km 2+000 - km 4+000) el 28-03-24 por 24 horas

PARAMETROS METEREOLÓGICOS						
Código:		EA-02	Coordenadas UTM:		184026 E	8496582 N
Estación de muestreo:			km 2+000 - km 4+000	Fecha:	02/08/2024	Altitud:3684
Niveles	Temperatura Ambiental (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad de Viento (m/s)	Dirección del Viento (°)	Presión Atmosférica (mmHg)	Precipitación (mm)
Máximo	24,0	83,0	3,6	...	489,6	0,0
Mínimo	2,2	52,0	0,2	...	487,8	0,0
Promedio	14,2	62,5	2,0	...	488,9	0,0

Fuente: Elaboración propia

La estación de muestreo EA-02 (km 2+000 - km 4+000) reportó según los datos de la Tabla 48, procesados en la Tabla 13 una temperatura entre 24,2°C y 2,2°C tendiendo un promedio de 14,2°C con una humedad promedio de 62,5%, se presencia barloventos y sotaventos con dirección noreste y oeste respectivamente con intensidad de viento promedio de 2 m/s. No se presentó precipitación en la zona establecida.

Figura 7
 Rosa de viento de la EA-02 en temporada seca



Fuente: Elaboración propia

Los sectores noreste y oeste presentaron segmentos radiales significativos, lo cual quiere decir que el movimiento del viento presento cambios de dirección y por lo tanto las partículas movidas se esparcen entre esas direcciones.

Tabla 14

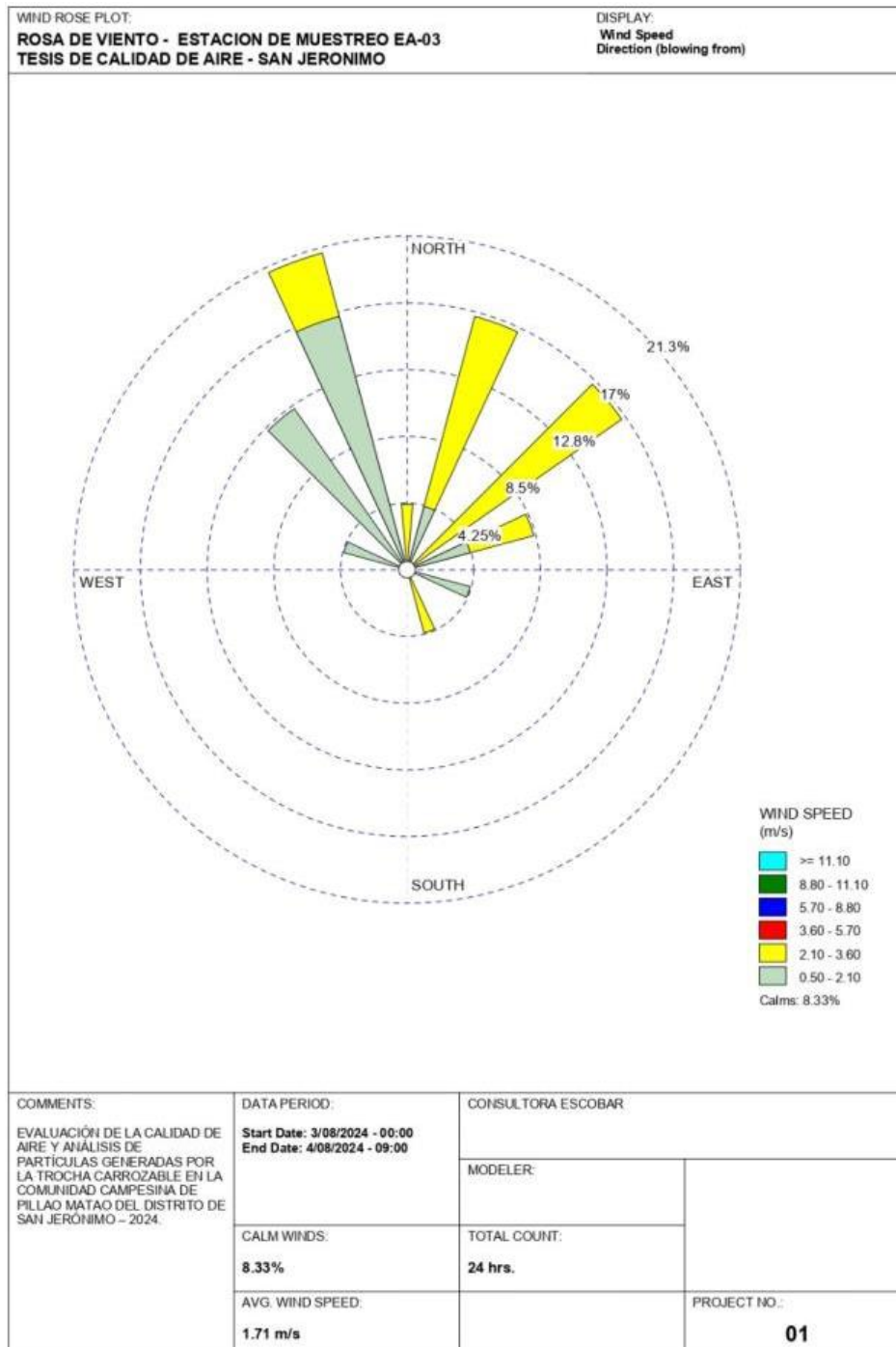
Datos meteorológicos de la estación de aire EA-03 (km 4+000 - km 6+224) el 03-08-24 por 24 horas

PARAMETROS METEREOLÓGICOS						
	Código:	EA-03	Coordenadas UTM:	183833 E	8496358 N	
	Estación de muestreo:	km 4+000 - km 6+224	Fecha:	29/03/2024	Altitud:3764	
Niveles	Temperatura Ambiental (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad de Viento (m/s)	Dirección del Viento (°)	Presión Atmosférica (mmHg)	Precipitación (mm)
Máximo	22,6	70,0	3,4	....	481,5	0,0
Mínimo	2,1	50,0	0,0	....	478,5	0,0
Promedio	12,6	60,9	1,7	....	479,9	0,0

Fuente: Elaboración propia

La estación de muestreo EA-03 (km 4+000 - km 6+224) reportó según los datos de la Tabla 49, procesados en la Tabla 14 una temperatura entre 22,6°C y 2,1°C tendiendo un promedio de 12,6°C con una humedad promedio de 60,9%, se presencia barloventos y sotaventos con dirección noreste y noroeste respectivamente con intensidad de viento promedio de 1,7 m/s. No se presentó precipitación en la zona establecida.

Figura 8
Rosa de viento de la EA-03 en temporada seca



Fuente: Elaboración propia

El sector noreste y noroeste presentaron segmentos radiales significativos, lo cual quiere decir que el movimiento del viento presentó cambios de dirección y por lo tanto las partículas movidas se esparcen entre esas direcciones.

5.1.4. Calidad del aire en temporada de lluvia

En ese segmento se mostró los datos resultantes del análisis de laboratorio y gabinete en temporada de lluvia.

5.1.4.1. Calidad de aire de acuerdo al INCA

Calidad de aire de las estaciones de muestreo (PM 2,5).

Tabla 15

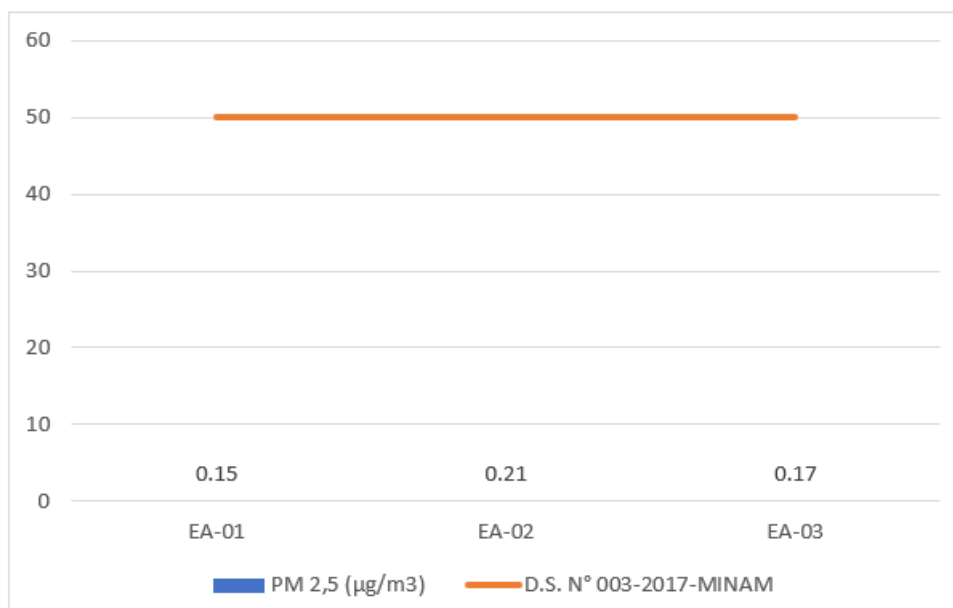
Resultados de las estaciones para el PM 2,5 en temporada de lluvia según normativa peruana

ESTACIÓN	PESO INICIAL DEL FILTRO (g)	PESO FINAL DEL FILTRO (g)	PM 2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	IN CA
<i>Estación EA – 01 (0 + 000 – km 2 + 000)</i>	0.143	0.143	0.15	
<i>Estación EA – 02 (km 2 + 000 – km 4 + 000)</i>	0.143	0.143	0.21	50
<i>Estación EA – 03 (km 4 + 000 – km 6 + 224)</i>	0.143	0.143	0.17	

Fuente: Elaboración propia

Figura 9

Resultados de las PM 2,5 de las estaciones según INCA



Las estaciones presentaron los valores de PM 2,5 extremadamente por debajo de lo establecido por la normativa peruana.

Calidad de aire de las estaciones de muestreo (PM 10).

Tabla 16

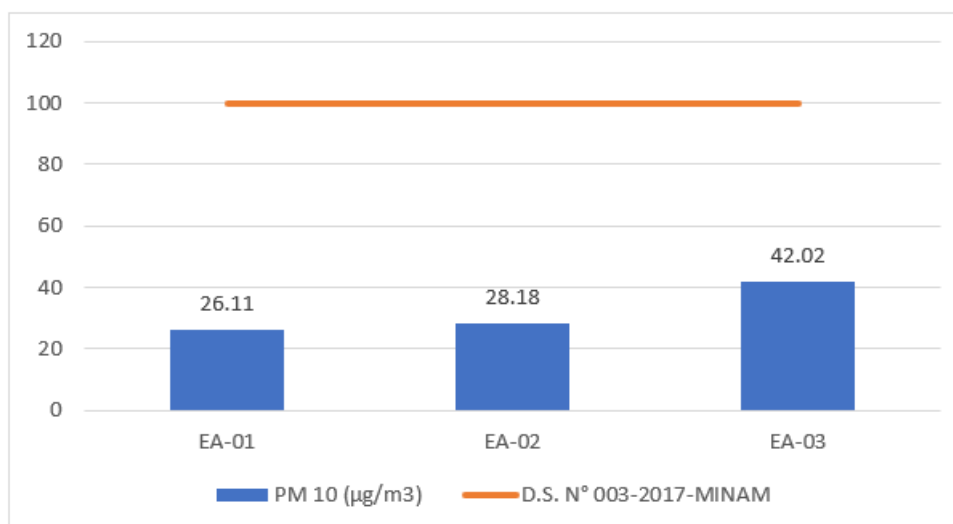
Resultados de las estaciones para el PM 10 en temporada de lluvia según la normativa peruana

ESTACIÓN	PESO INICIAL DEL FILTRO (g)	PESO FINAL DEL FILTRO (g)	PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	IN CA
Estación EA – 01 (0 + 000 – km 2 + 000)	4.378	4.407	26.11	
Estación EA – 02 (km 2 + 000 - km 4 + 000)	4.378	4.408	28.18	100
Estación EA – 03 (km 4 + 000 - km 6 + 224)	4.378	4.422	42.02	

Fuente: Elaboración propia

Figura 10

Resultados de las PM 10 de las estaciones según INCA



Las estaciones presentaron los valores de PM 10 dentro de lo establecido por la normativa peruana.

5.1.4.2. Calidad de aire de las estaciones de muestreo según el ICA.

Tabla 17

Resultados de las estaciones según el ICA en temporada de lluvia de la PM 2,5

ESTACIÓN	PM 2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ICA PM 2,5	ESTADO
Estación EA-01 (0+000 - km 2+000)	0.15	0.83	Buena
Estación EA-02 (km 2+000 - km 4+000)	0.21	1.17	Buena
Estación EA-03 (km 4+000 - km 6+224)	0.17	0.94	Buena

Fuente: Elaboración propia

Todas las estaciones presentan una calificación dentro del rango de “Buena” de la ICA.

Tabla 18

Resultados de las estaciones según el ICA en temporada de lluvia de la PM 10

ESTACIÓN	PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ICA PM 10	ESTADO
Estación EA – 01 (0 + 000 – km 2 + 000)	26.11	23.69	Buena
Estación EA – 02 (km 2 + 000 – km 4 + 000)	28.18	25.57	Buena
Estación EA – 03 (km 4 + 000 – km 6 + 224)	42.02	38.12	Buena

Fuente: Elaboración propia

Las estaciones de muestreo EA-01 y EA-02 presentan valores cercanos a la mitad del estado Bueno definido por el ICA. A comparación de la estación de muestreo EA-03 que está un poco más cerca del estado Moderada.

5.1.4.3. Calidad de aire en base a la normativa europea 2024.

Calidad de aire de las estaciones de muestreo (PM 2,5).

Tabla 19

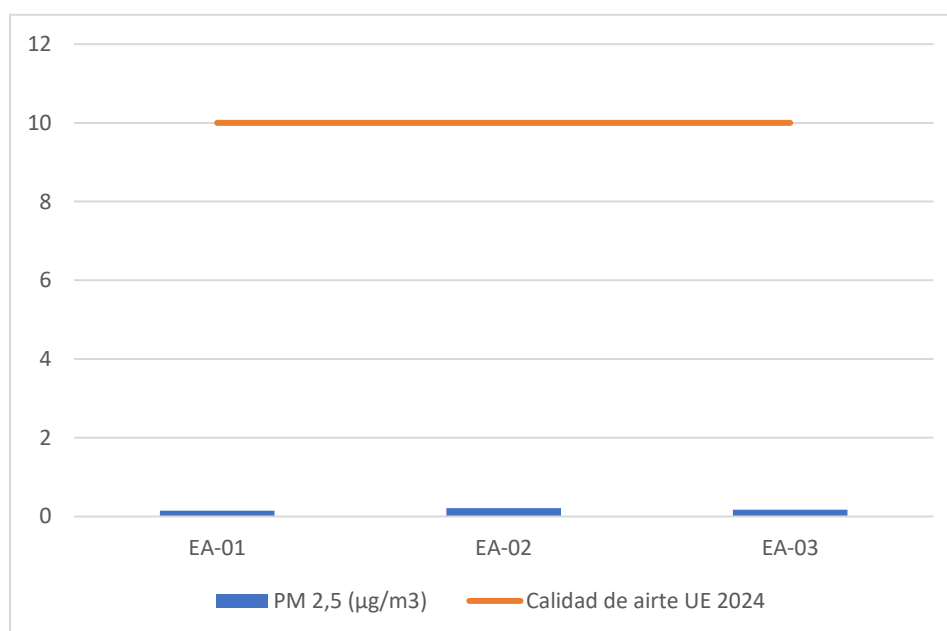
Resultados de las estaciones para el PM 2,5 en temporada de lluvia según la UE

ESTACIÓN	PESO INICIAL DEL FILTRO (g)	PESO FINAL DEL FILTRO (g)	PM 2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Calidad de Aire UE 2024
Estación EA-01 (0 + 000 – km 2 + 000)	0.143	0.143	0.15	
Estación EA-02 (km 2 + 000 – km 4 + 000)	0.143	0.143	0.21	10
Estación EA-03 (km 4 + 000 – km 6 + 224)	0.143	0.143	0.17	

Fuente: Elaboración propia

Figura 11

Resultados de las PM 2,5 de las estaciones según la normativa europea 2024



Las estaciones presentaron los valores de PM 2,5 extremadamente por debajo de lo establecido por la normativa europea del 2024.

Calidad de aire de las estaciones de muestreo (PM 10).

Tabla 20

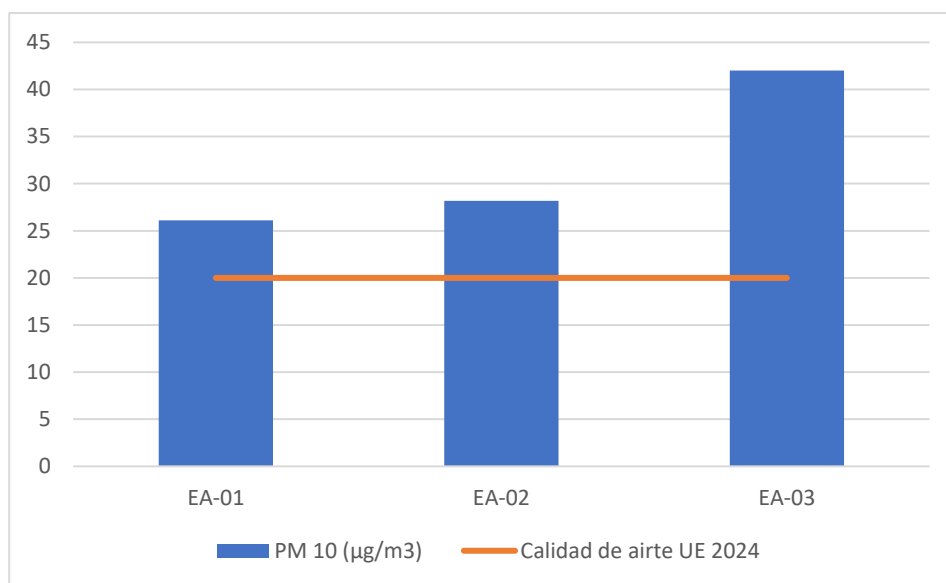
Resultados del seguimiento de la calidad de aire de las estaciones (PM 10) en temporada de lluvia según la UE

ESTACIÓN	PESO INICIAL DEL FILTRO (g)	PESO FINAL DEL FILTRO (g)	PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Calidad de Aire UE 2024
Estación EA-01 (0 + 000 – km 2 + 000)	4.378	4.407	26.11	20
Estación EA-02 (km 2 + 000 – km 4 + 000)	4.378	4.408	28.18	
Estación EA-03 (km 4 + 000 – km 6 + 224)	4.378	4.422	42.02	

Fuente: Elaboración propia

Figura 12

Resultados de las PM 10 de las estaciones según la normativa europea 2024



Las estaciones presentaron los valores de PM 10 superior a lo establecido por la normativa europea del 2024.

5.1.4.4. Calidad de aire de acuerdo a la Directriz de la OMS

Calidad de aire de las estaciones de muestreo (PM 2,5).

Tabla 21

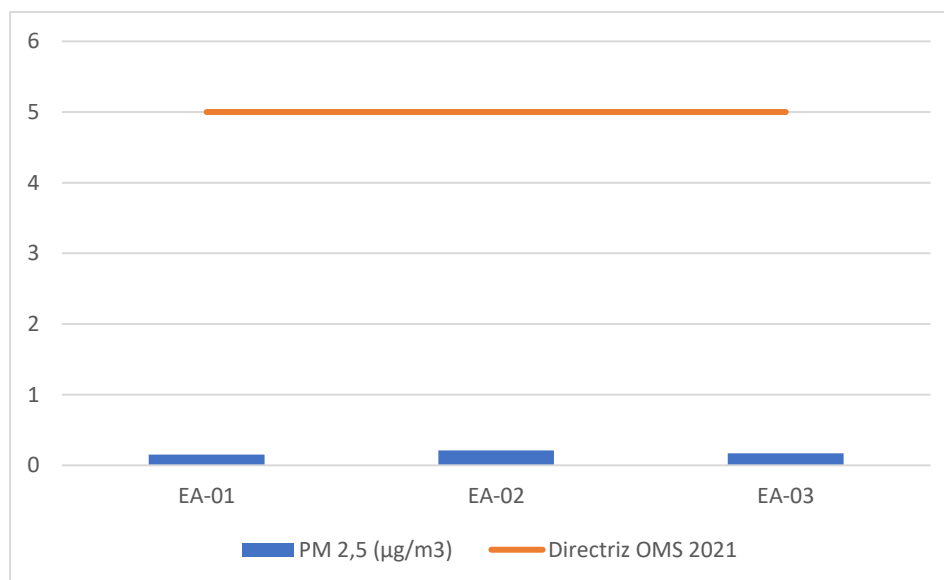
Resultados del seguimiento de la calidad de aire de las estaciones (PM 2,5) en temporada de lluvia según la OMS

ESTACIÓN	PESO INICIAL DEL FILTRO (g)	PESO FINAL DEL FILTRO (g)	PM 2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Directriz OMS 2021
Estación EA-01 (0 + 000 – km 2 + 000)	0.143	0.143	0.15	
Estación EA-02 (km 2 + 000 – km 4 + 000)	0.143	0.143	0.21	5
Estación EA-03 (km 4 + 000 – km 6 + 224)	0.143	0.143	0.17	

Fuente: Elaboración propia

Figura 13

Resultados de las PM 2,5 de las estaciones según OMS 2021



Las estaciones presentaron los valores de PM 2,5 por debajo de lo establecido por la directriz del 2021 de la OMS.

Calidad de aire de las estaciones de muestreo (PM 10).

Tabla 22

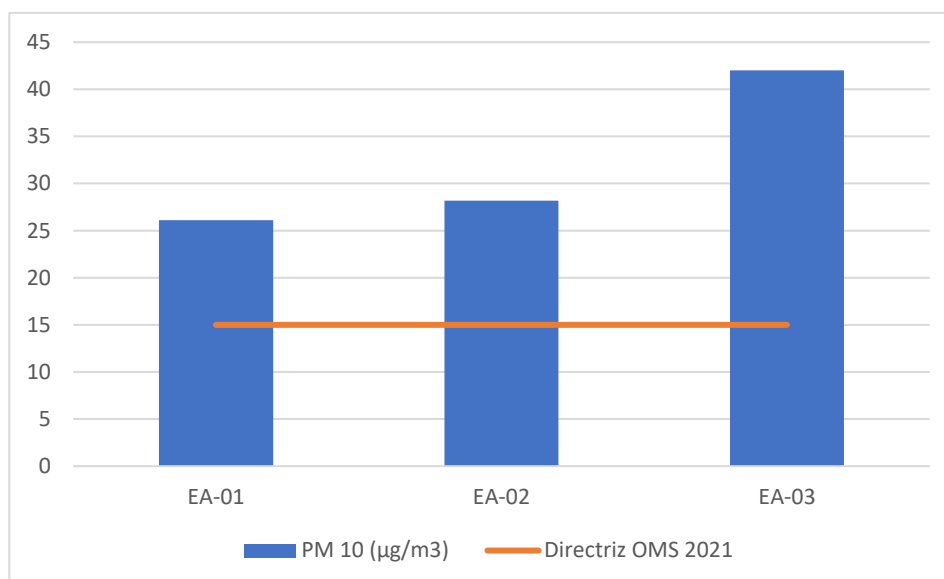
Resultados de las estaciones para PM 10 en temporada de lluvia según la OMS

ESTACIÓN	PESO INICIAL DEL FILTRO (g)	PESO FINAL DEL FILTRO (g)	PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Directriz OMS 2021
Estación EA-01 (0 + 000 – km 2 + 000)	4.378	4.407	26.11	
Estación EA-02 (km 2 + 000 – km 4 + 000)	4.378	4.408	28.18	15
Estación EA-03 (km 4 + 000 – km 6 + 224)	4.378	4.422	42.02	

Fuente: Elaboración propia

Figura 14

Resultados de las PM 10 de las estaciones según OMS 2021



Las estaciones presentaron los valores de PM 10 mayores a lo establecido por la directriz 2021 de la OMS.

5.1.5. Calidad del aire en temporada seca

En esta sección se presentaron la información obtenida a partir del análisis de laboratorio y gabinete en temporada seca.

5.1.5.1. Calidad de aire de acuerdo al INCA

Calidad de aire de las estaciones de muestreo (PM 2,5).

Tabla 23

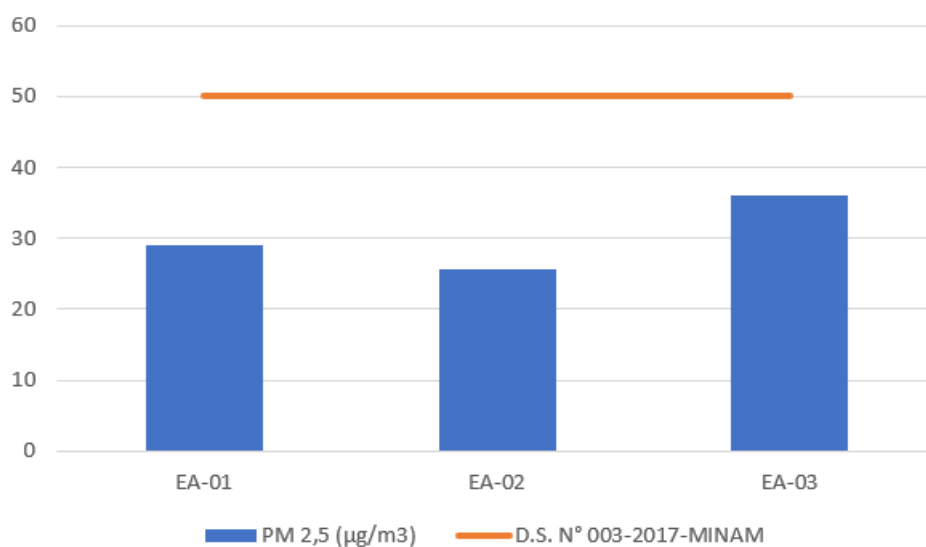
Resultados de las estaciones para PM 2,5 en temporada seca según normativa peruana

ESTACIÓN	PESO INICIAL DEL FILTRO (g)	PESO FINAL DEL FILTRO (g)	PM 2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	IN CA
Estación EA-01 (0 + 000 – km 2 + 000)	0.143	0.184	29.15	
Estación EA-02 (km 2 + 000 – km 4 + 000)	0.143	0.181	25.64	50
Estación EA-03 (km 4 + 000 – km 6 + 224)	0.143	0.189	36.08	

Fuente: Elaboración propia

Figura 15

Resultados de las PM 2,5 de las estaciones según INCA



Las estaciones presentaron los valores de PM 2,5 cerca de lo establecido por la norma peruana.

Calidad de aire de las estaciones de muestreo (PM 10).

Tabla 24

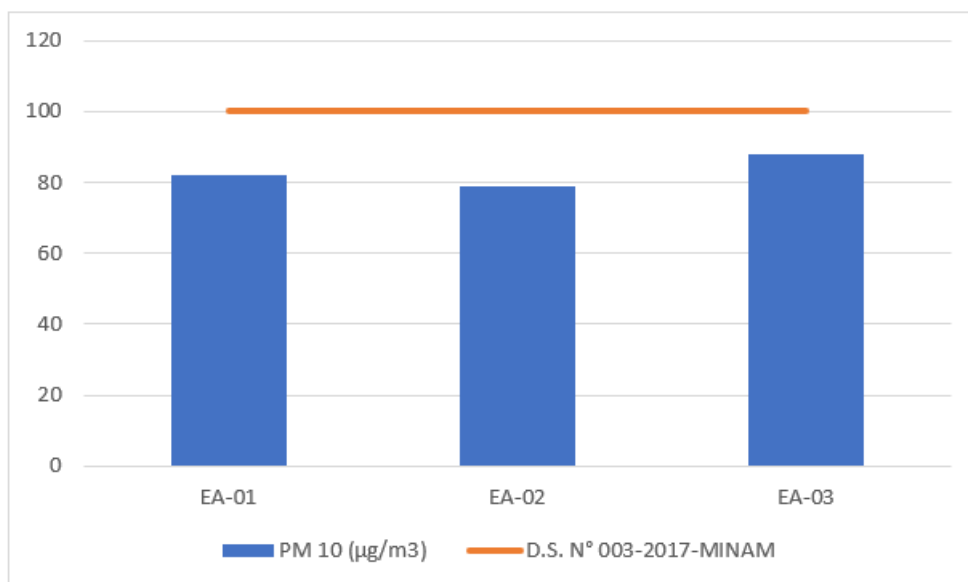
Resultados de las estaciones para PM 10 en temporada seca según normativa peruana

ESTACIÓN	PESO INICIAL DEL FILTRO (g)	PESO FINAL DEL FILTRO (g)	PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	INCA
Estación EA-01 (0+000 - km 2+000)	4.378	4.481	82.15	
Estación EA-02 (km 2+000 - km 4+000)	4.378	4.478	79.04	100
Estación EA-03 (km 4+000 - km 6+224)	4.378	4.497	88.03	

Fuente: Elaboración propia

Figura 16

Resultados de las PM 10 de las estaciones según INCA



Las estaciones de muestreo presentaron los valores de PM 10 muy cerca de lo establecido por la norma peruana.

5.1.5.2. Calidad de aire de las estaciones de muestreo según el ICA.

Tabla 25

Resultados de las estaciones según el ICA en temporada seca

ESTACIÓN	PM 2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ICA PM 2,5	ESTADO
Estación EA-01 (0+000 - km 2+000)	29.15	86	Moderada
Estación EA-02 (km 2+000 - km 4+000)	25.64	79	Moderada
Estación EA-03 (km 4+000 - km 6+224)	36.08	101	Insalubre para grupos sensibles

Fuente: Elaboración propia

Las estaciones de muestreo EA-01 y EA-02 presentan en el PM 2,5 un estado de Moderada. En el caso del EA-03, la estación muestra un estado de Insalubre para grupos sensibles, puesto que presentan valores entre el rango de 100 a 150. Por lo cual las personas jóvenes, ancianas y que presenten un problema respiratorio o cardiaco, no deben estar expuestos a la zona EA-03.

Tabla 26

Resultados de las estaciones según el ICA en temporada seca

ESTACIÓN	PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ICA PM 10	ESTADO
Estación EA-01 (0 + 000 – km 2 + 000)	82.15	64	Moderada
Estación EA-02 (km 2 + 000 – km 4 + 000)	79.04	62	Moderada
Estación EA-03 (km 4 + 000 – km 6 + 224)	88.03	67	Moderada

Fuente: Elaboración propia

Las estaciones de muestreo EA-01, EA-02 y EA-03 presentan en el PM 10 un valor de Moderada, por lo que están entre el rango de 50 a 100. Esto indica que personas con problemas respiratorios no deberían estar mucho tiempo en la zona.

5.1.5.3. Calidad de aire en base a la normativa europea 2024.

Calidad de aire de las estaciones de muestreo (PM 2,5).

Tabla 27

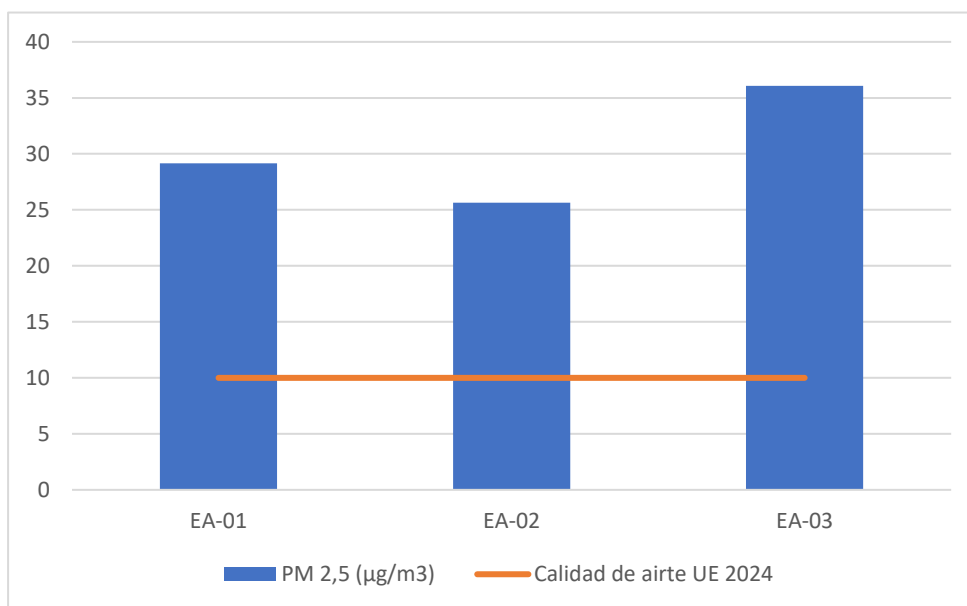
Resultados de las estaciones para PM 2,5 en temporada seca según la UE

ESTACIÓN	PESO INICIAL DEL FILTRO (g)	PESO FINAL DEL FILTRO (g)	PM 2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Calidad de Aire UE 2024
Estación EA-01 (0 + 000 – km 2 + 000)	0.143	0.184	29.15	
Estación EA-02 (km 2 + 000 – km 4 + 000)	0.143	0.181	25.64	10
Estación EA-03 (km 4 + 000 – km 6 + 224)	0.143	0.189	36.08	

Fuente: Elaboración propia

Figura 17

Resultados de las PM 2,5 de las estaciones según la normativa europea 2024



Las estaciones presentaron los valores de PM 2,5 superiores a lo establecido por la normativa europea del 2024.

Calidad de aire de las estaciones de muestreo (PM 10).

Tabla 28

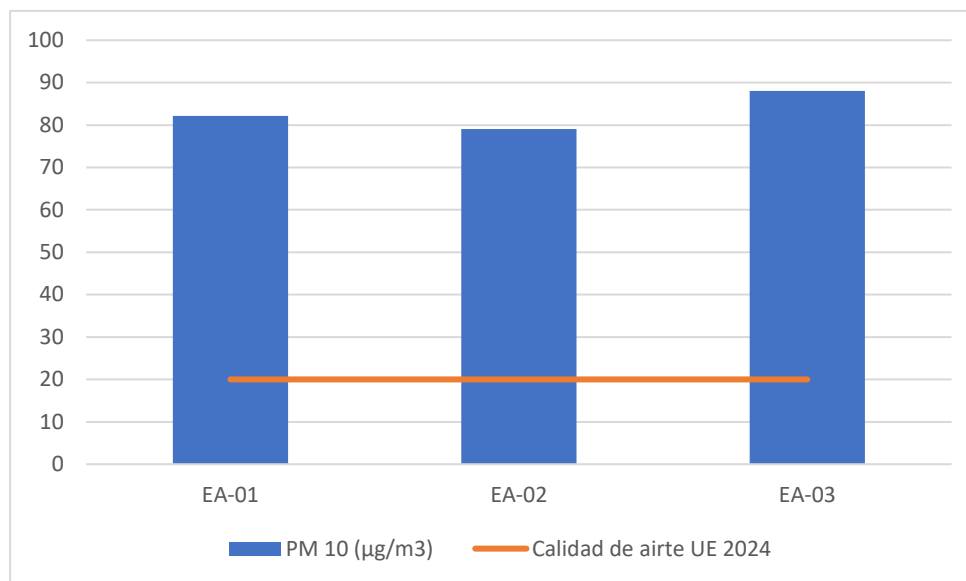
Resultados de las estaciones para PM 10 en temporada seca según la UE

ESTACIÓN	PESO INICIAL DEL FILTRO (g)	PESO FINAL DEL FILTRO (g)	PM 10 (µg/m³)	Calidad de Aire UE 2024
Estación EA-01 (0 + 000 – km 2 + 000)	4.378	4.481	82.15	
Estación EA-02 (km 2 + 000 – km 4 + 000)	4.378	4.478	79.04	20
Estación EA-03 (km 4 + 000 – km 6 + 224)	4.378	4.497	88.03	

Fuente: Elaboración propia

Figura 18

Resultados de las PM 10 de las estaciones según la normativa europea 2024



Las estaciones presentaron los valores de PM 10 muy superior a lo establecido por la normativa europea del 2024.

5.1.5.4. Calidad de aire de acuerdo a la Directriz de la OMS

Calidad de aire de las estaciones de muestreo (PM 2,5).

Tabla 29

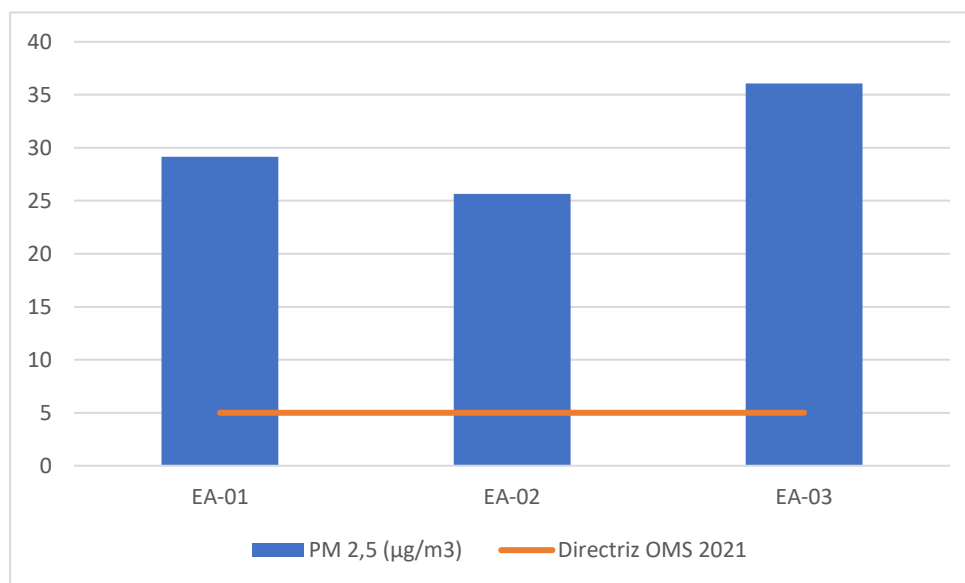
Resultados de las estaciones para PM 2,5 en temporada seca según la OMS

ESTACIÓN	PESO INICIAL DEL FILTRO (g)	PESO FINAL DEL FILTRO (g)	PM 2,5 (µg/m ³)	Directriz OMS 2021
Estación EA-01 (0+000 - km 2+000)	0.143	0.184	29.15	5
Estación EA-02 (km 2+000 - km 4+000)	0.143	0.181	25.64	
Estación EA-03 (km 4+000 - km 6+224)	0.143	0.189	36.08	

Fuente: Elaboración propia

Figura 19

Resultados de las PM 2,5 de las estaciones según OMS 2021



Las estaciones registraron valores de PM 2,5 considerables por sobre lo establecido por la directriz del 2021 de la OMS.

Calidad de aire de las estaciones de muestreo (PM 10).

Tabla 30

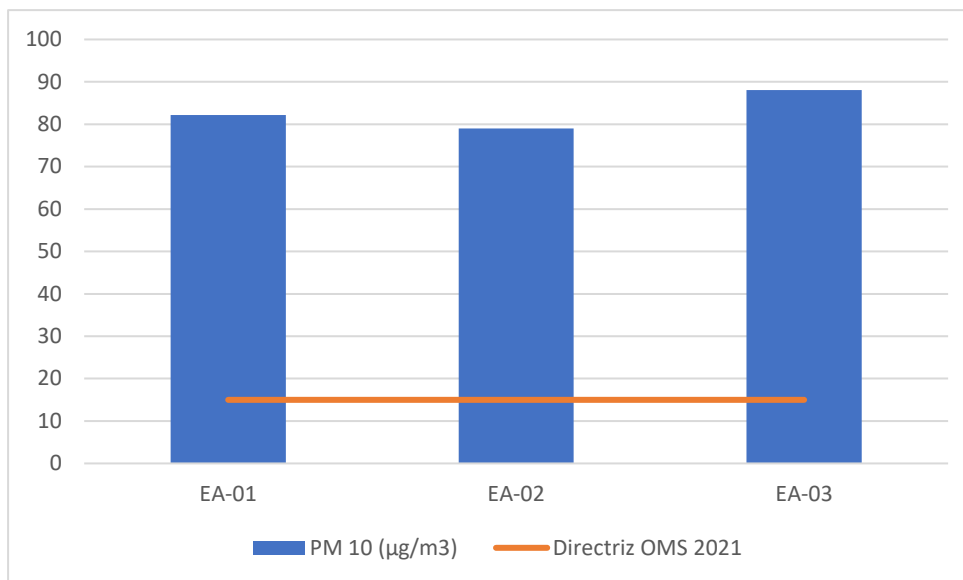
Resultados de las estaciones para PM 10 en temporada seca según la OMS

ESTACIÓN	PESO INICIAL DEL FILTRO (g)	PESO FINAL DEL FILTRO (g)	PM 10 (µg/m ³)	Directriz OMS 2021
Estación EA-01 (0 + 000 – km 2 + 000)	4.378	4.481	82.15	
Estación EA-02 (km 2 + 000 – km 4 + 000)	4.378	4.478	79.04	15
Estación EA-03 (km 4 + 000 – km 6 + 224)	4.378	4.497	88.03	

Fuente: Elaboración propia

Figura 20

Resultados de las PM 10 de las estaciones según OMS 2021



Las estaciones presentaron valores de PM 10 extremadamente por encima de lo establecido por la directriz 2021 de la OMS.

5.1.6. Comparación entre temporada seca y lluvia

Durante la temporada de lluvias, los niveles de material particulado PM 2,5 se encontraron significativamente inferiores a los límites regulados por normativas como el INCA, la normativa europea de 2024 y las directrices de la OMS. Esto refleja un impacto moderador de las precipitaciones, que ayudan a reducir la acumulación de partículas finas dispersas en el ambiente. Las estaciones EA-01, EA-02 y EA-03 registraron valores que variaron entre 0.15 y 0.21 µg/m³, considerablemente menores que los límites locales e internacionales. Esta calidad del aire se traduce en un estado “Buena” según el Índice de Calidad de Aire (ICA), incluso en aquellas zonas con mayor tráfico o actividad humana. En contraste, durante la temporada seca, los valores de PM 2,5 aumentaron drásticamente, alcanzando entre 25.64 y 36.08 µg/m³, situándose cerca de los límites establecidos por el INCA y sobrepasando los estándares de la OMS y la normativa europea. Este incremento, atribuido a la ausencia de lluvias que eliminan partículas del aire, generó estados de calidad “Insalubre” e “Insalubre para grupos sensibles” en el ICA.

Respecto al PM 10, durante la temporada de lluvias, los niveles también estuvieron dentro de los límites establecidos por el INCA, con valores entre 26.11 y 42.02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Aunque cumplieron con la normativa nacional, estos resultados superaron los límites más estrictos de la normativa europea y las directrices de la OMS, lo que evidencia un menor impacto de las lluvias en partículas más grandes. El ICA calificó estas condiciones como “Buena”. En la temporada seca, los valores de PM 10 aumentaron notablemente, oscilando entre 79.04 y 88.03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, acercándose peligrosamente al límite del INCA y superando ampliamente las directrices internacionales. Este comportamiento refleja la acumulación de partículas, lo que resultó en estados de calidad del aire “Insalubre” para las estaciones EA-01 y EA-03, según el ICA.

5.1.7. Riesgo en la Salud

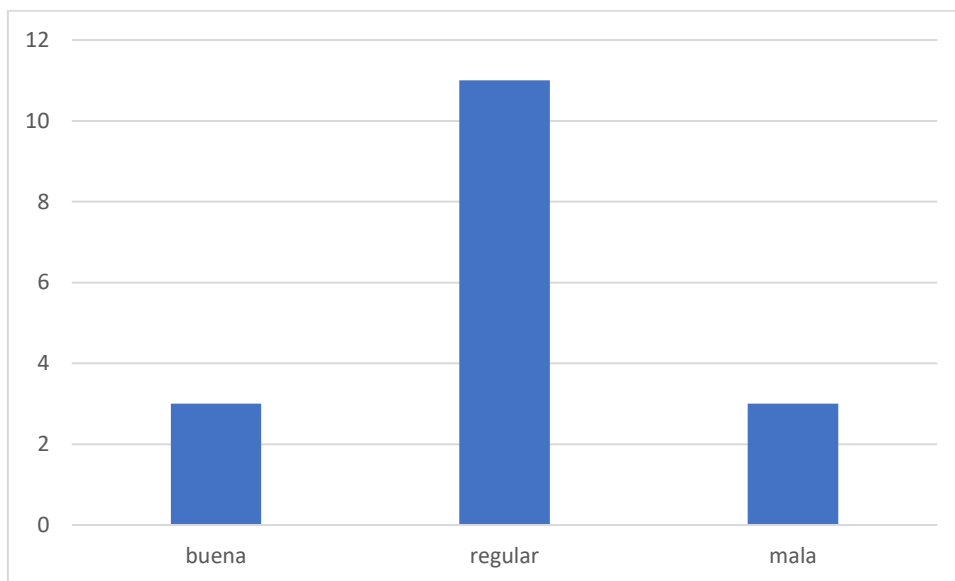
Se realizó una encuesta a 17 personas para observar el efecto causado por la trocha carrozable a su estado de salud.

La muestra encuestada tiene un promedio de edad de 39 años, lo cual sugiere que los participantes son personas mayores en su mayoría, con capacidad para reconocer y evaluar los impactos ecológicos y sanitarios relacionados con la contaminación atmosférica. A su vez estos tienen hogares que cuentan con alrededor de 6 personas y su trabajo principalmente es el de agricultor.

5.1.7.1. Salud

Figura 21

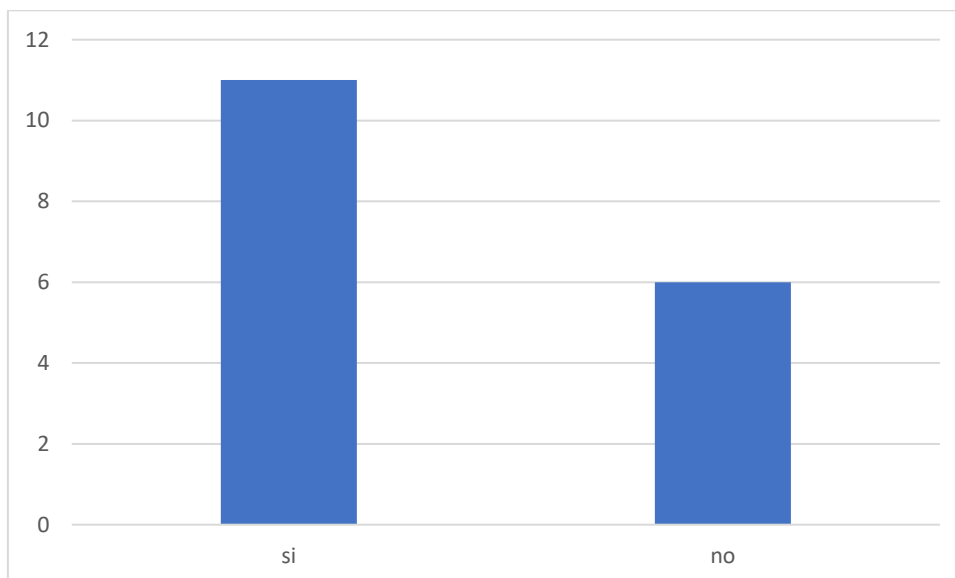
Resultado de la pregunta 4: ¿Como calificarías tu estado de salud actual?



La salud de la comunidad presenta disparidad, ya que la mayoría describe su estado como regular (11), mientras que un grupo lo percibe como malo (3). Esto resalta la urgencia de acciones para optimizar las condiciones sanitarias en la región.

Figura 22

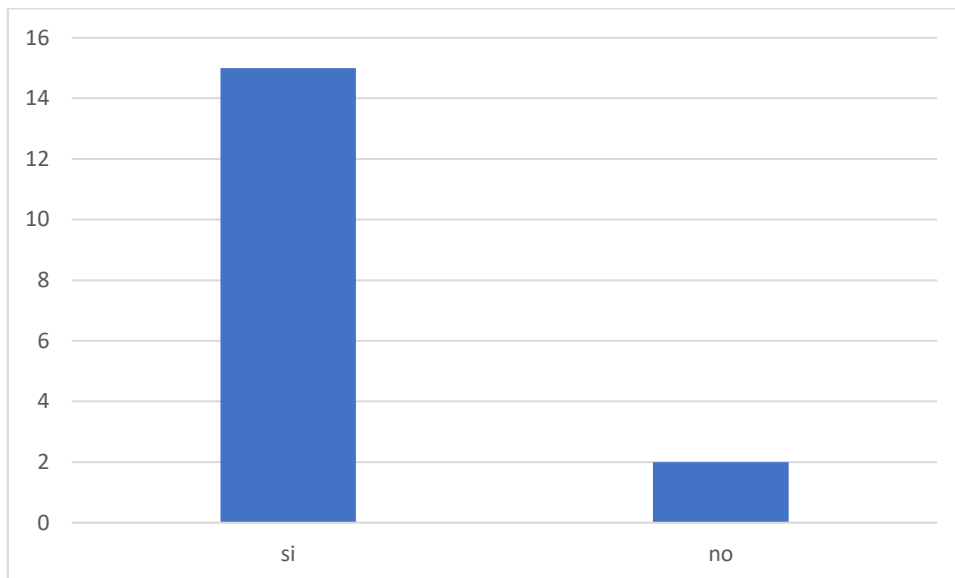
Resultado de la pregunta 5: ¿Ha tenido alguna enfermedad crónica en los últimos 6 meses?



El 65% de los encuestados han padecido enfermedades crónicas recientemente, lo que sugiere que la exposición prolongada a contaminantes podría estar exacerbando condiciones de salud preexistentes.

Figura 23

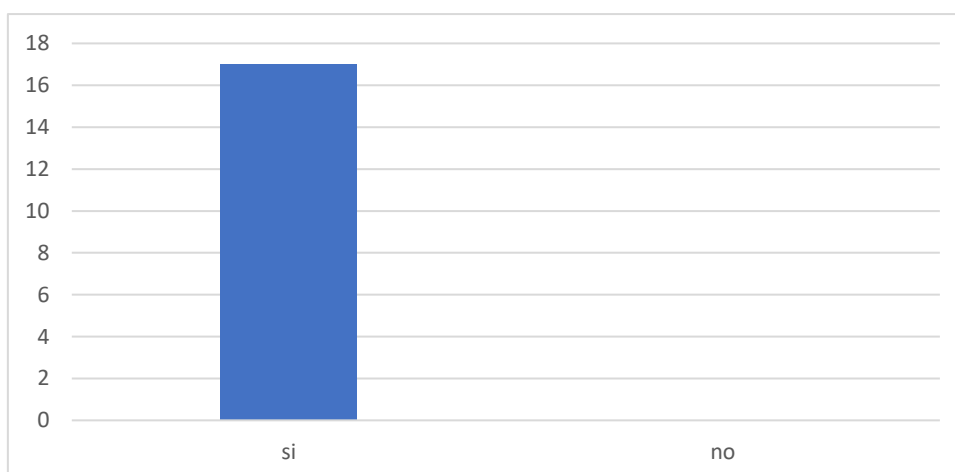
Resultado de la pregunta 6: ¿Ha experimentado algún síntoma de enfermedad respiratoria en los últimos 6 meses?



El 88% de los encuestados en los últimos 6 meses atribuyen problemas de salud a la contaminación del aire, lo que evidencia una percepción generalizada de los efectos adversos ocasionados por las construcciones en la trocha carrozable.

Figura 24

Resultado de la pregunta 7: ¿Ha notado algún cambio en su salud desde que iniciaron la obra de la trocha carrozable?

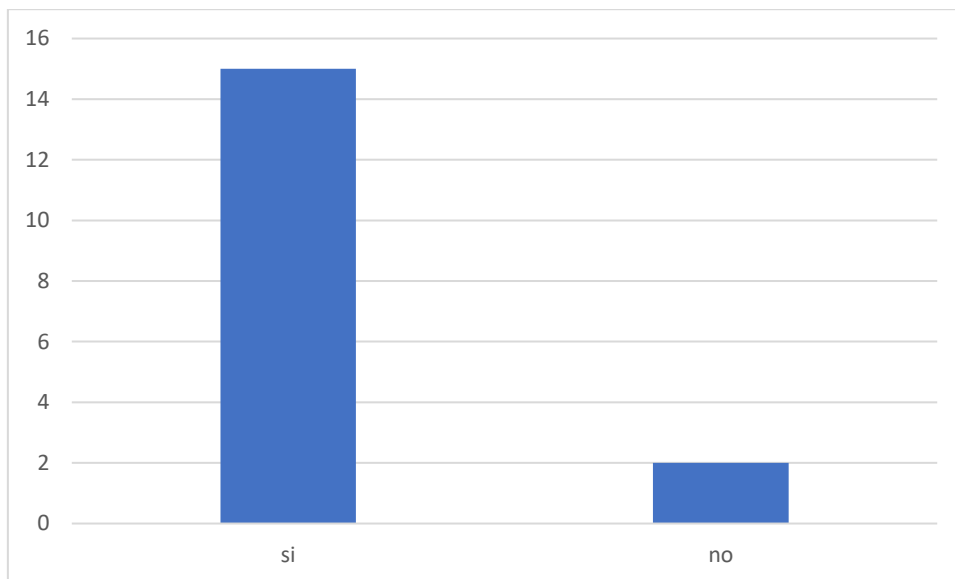


Todos los participantes han notado un deterioro en su salud desde el inicio de las obras, indicando que estas actividades han tenido una repercusión considerable en el bienestar de la comunidad.

5.1.7.2. Contaminación

Figura 25

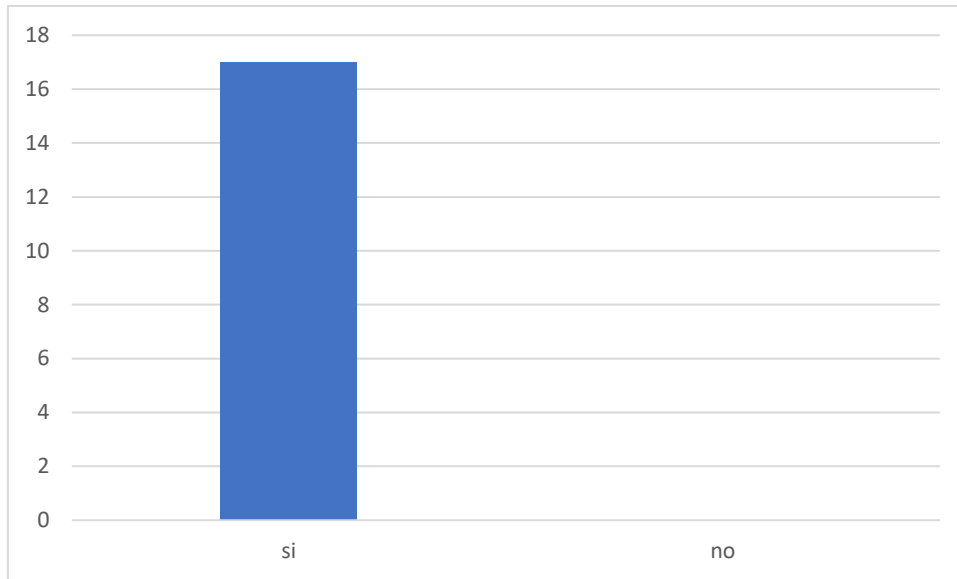
Resultado de la pregunta 8: ¿Ha notado algún aumento en la cantidad de polvo y partículas en el aire desde que iniciaron la obra de la trocha carrozable?



El 88% de los encuestados percibe un aumento en el material particulado en el aire, lo cual podría estar contribuyendo a la alta incidencia de problemas respiratorios y otras afecciones.

Figura 26

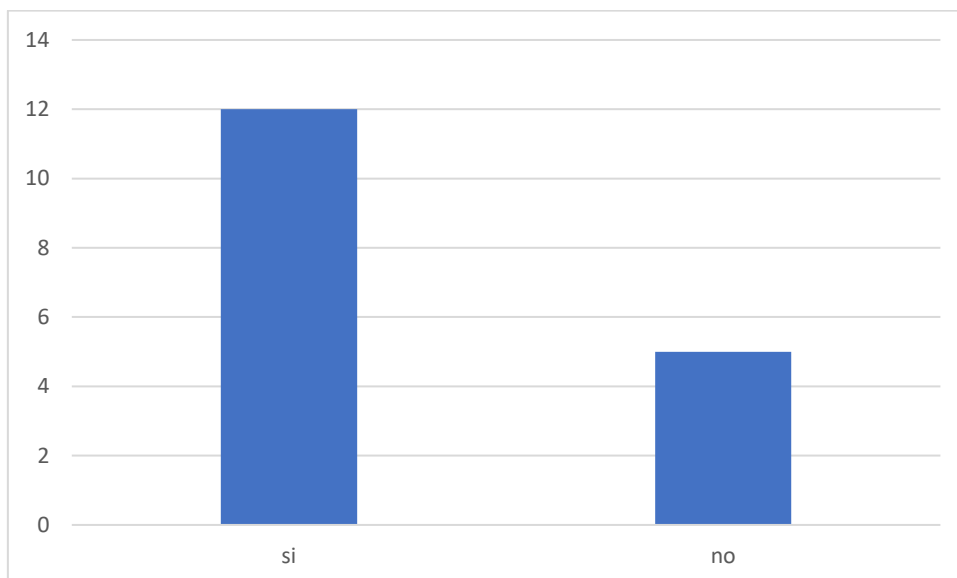
Resultado de la pregunta 9: ¿Ha experimentado algún problema de salud que cree que este relacionado con la contaminación de aire?



La totalidad de los encuestados ha experimentado problemas de salud vinculados a la polución atmosférica, lo que destaca la urgencia para implementar medidas de mitigación efectivas.

Figura 27

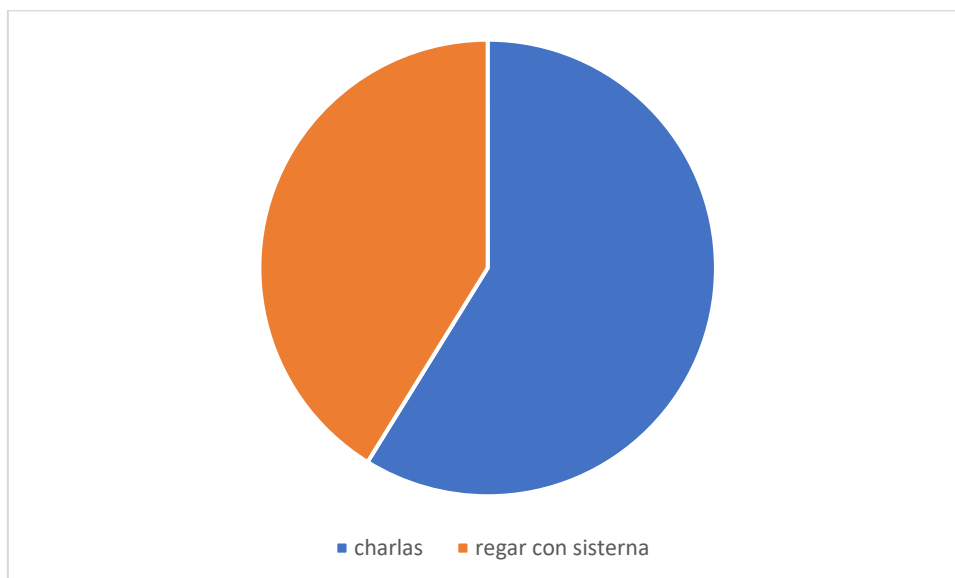
Resultado de la pregunta 10: ¿Ha tomado alguna medida para proteger su salud de la contaminación de aire?



El 71% ha tomado medidas para proteger su salud, lo que demuestra una preocupación activa de la comunidad, aunque es necesario reforzar estas acciones con apoyo institucional.

Figura 28

Resultado de la pregunta 11: ¿Qué cree que se podría hacer para reducir la contaminación del aire en la comunidad?

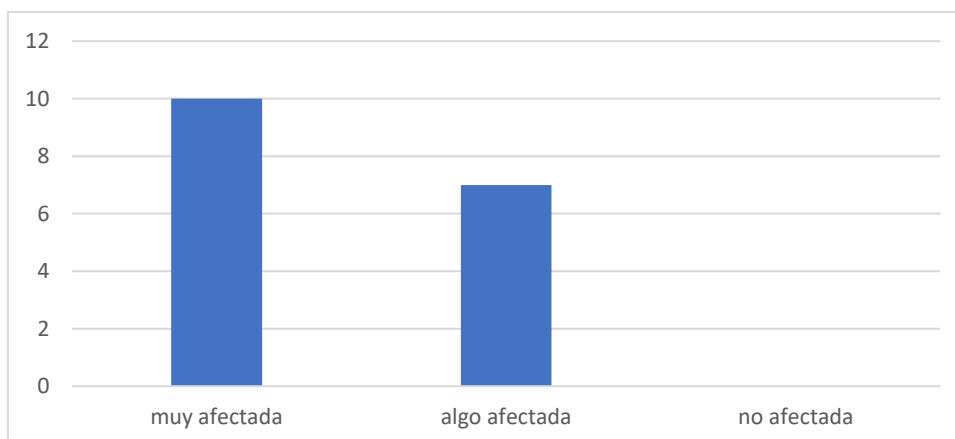


Las sugerencias de charlas (10) y regado con cisternas (7) destacan la necesidad de intervenciones educativas y operativas inmediatas para controlar las partículas de polvo y los agentes contaminantes en la atmósfera.

5.1.7.3. Percepción de la salud

Figura 29

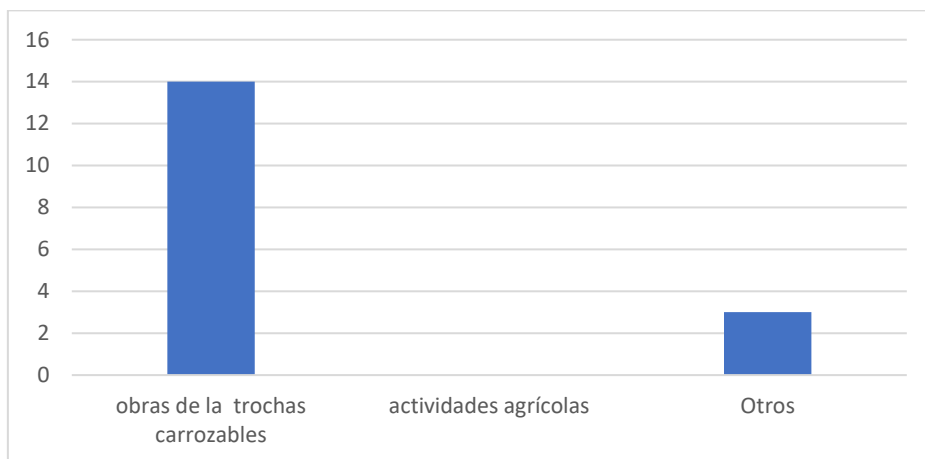
Resultado de la pregunta 12: ¿Cómo cree que la contaminación del aire ha afectado su salud?



El 59% considera que su salud está muy afectada, y el 41% la percibe algo afectada. Este consenso sobre el impacto negativo requiere atención prioritaria para reducir la exposición a contaminantes.

Figura 30

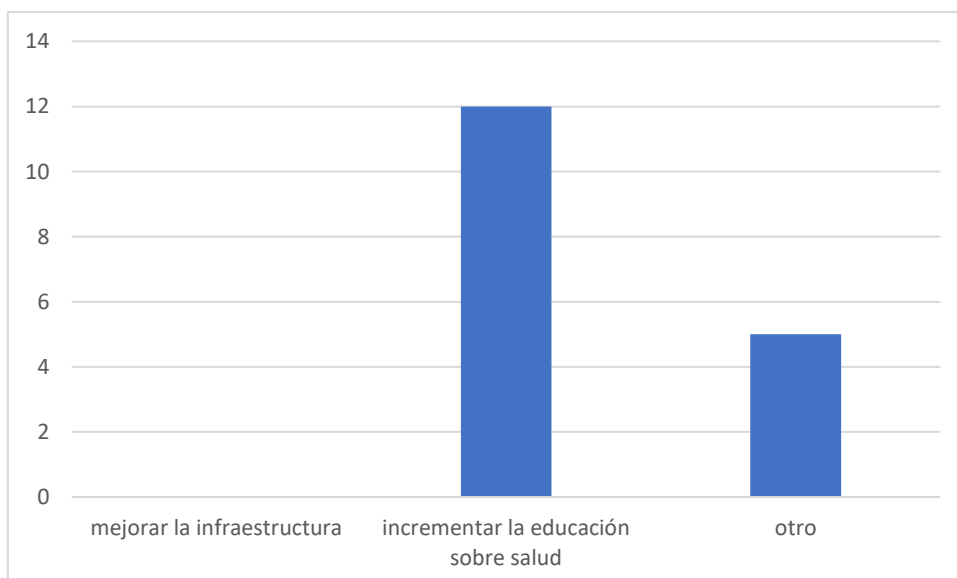
Resultado de la pregunta 13: ¿Qué cree que es la principal causa de la contaminación del aire en la comunidad?



La principal causa identificada son las obras de la trocha carrozable (14), lo que responsabiliza directamente a esta actividad y demanda medidas correctivas por parte de los responsables del proyecto.

Figura 31

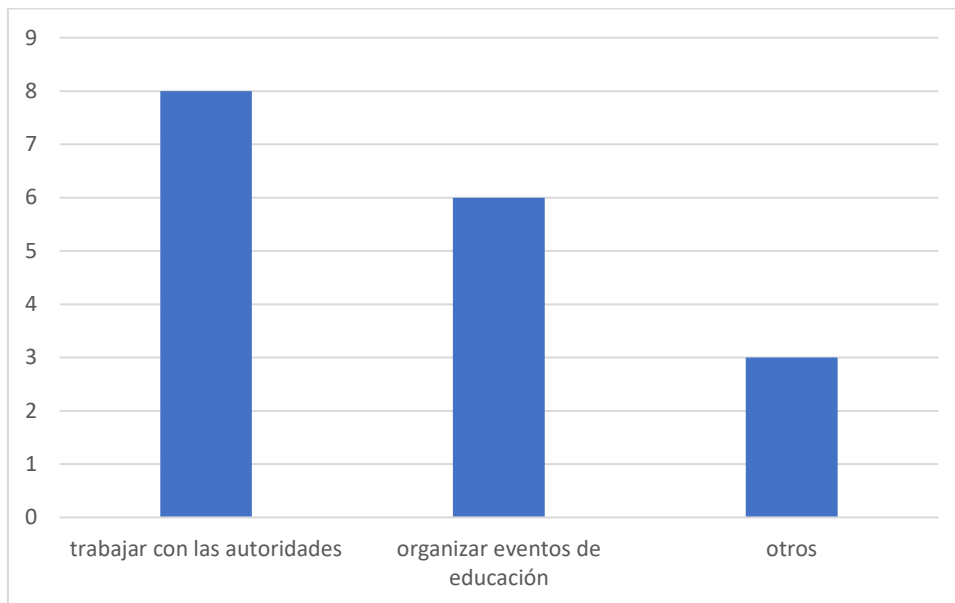
Resultado de la pregunta 14: ¿Qué cree que se podría hacer para mejorar la salud de la comunidad?



Incrementar la educación sobre salud (12) es la acción más valorada, lo que resalta la importancia de capacitar a la comunidad para abordar problemas relacionados con la contaminación y promover el bienestar colectivo.

Figura 32

Resultado de la pregunta 15: ¿Cómo cree que la comunidad podría trabajar juntos para abordar los problemas de salud relacionados con la contaminación de aire?



Trabajar con las autoridades (8) y organizar eventos educativos (6) son las propuestas principales, destacando la necesidad de colaboración entre la comunidad y las instituciones para abordar estos desafíos de manera sostenible.

5.2. Discusión de resultados

Según los registros obtenidos de las mediciones meteorológicas recopiladas en las estaciones de muestreo, se observaron claras diferencias en las condiciones climáticas entre las áreas monitoreadas. Por ejemplo, la estación EA-01, ubicada entre el kilómetro 0+000 y el kilómetro 2+000, la temperatura alcanzó un mínimo de 10,2°C y un máximo de 23,4°C, mientras que la humedad promedio se situó en el 76,6%. En contraste, la estación EA-03, entre el kilómetro 4+000 y el kilómetro 6+224, reportó una temperatura entre 8,3°C y 19,3°C, con una humedad promedio del 54,7%. Estas fluctuaciones en la humedad relativa y las temperaturas se deben a las variaciones en la altitud, la cobertura vegetal y la exposición al sol entre las ubicaciones de las estaciones. Mientras que en la estación EA-01 se reportó un nivel de precipitación total de 0,6 mm, las estaciones EA-02 y EA-03 no presentaron precipitación en la zona de monitoreo durante el período analizado. Estas diferencias en las condiciones meteorológicas entre las estaciones destacan la importancia de considerar la variabilidad espacial en la vigilancia ambiental y en la evaluación de posibles efectos en la CA y el entorno.

En cuanto a la CA en temporada de lluvia, fue relevante destacar que las estaciones de muestreo han reportado niveles de PM 2,5 y PM 10 en conformidad con los valores fijados por la normativa peruana. Sin embargo, se observa una tendencia en la estación EA-03, ubicada entre el kilómetro 4+000 y el kilómetro 6+224, donde los valores de PM 10 están cerca de alcanzar el límite intermedio para su clase. Esta situación podría indicar un posible impacto en la CA en esta zona específica.

Además, es importante evaluar con índices externo como el ICA utilizado en los Estados Unidos. Las estaciones EA-01 y EA-02 presentan valores de ICA que indican una calidad del aire dentro del rango "Bueno", mientras que la estación EA-03 muestra una tendencia hacia el rango "Moderado". Esta diferencia sugiere una mayor concentración de partículas en el área cercana a la estación EA-03, lo que podría tener implicaciones para la salud de la comunidad local en un futuro. Otro índice, es la

normativa propuesta por la Unión Europea en el 2024, donde se ve que para el PM 2,5 se encuentra en un nivel muy bajo, pero para el PM 10 se encuentra fuera del límite. Lo cual indica problemas en la calidad de aire por el PM 10. Por último, se consultó el índice propuesto por la OMS 2021, dando que de igual forma las PM 2,5 no llegan a estar en el límite del índice y las PM10 los sobrepasan con mayor diferencia.

En lo que respecta a la CA en temporada seca, fue relevante destacar que los hallazgos obtenidos para PM 2,5 mostraron concentraciones de 29.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la Estación EA-01, 25.64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la Estación EA-02 y 36.08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la Estación EA-03. Estos valores se sitúan en el medio permitido de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ establecido por la norma peruana. Asimismo, para el caso de PM 10, las concentraciones obtenidas fueron de 82.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la Estación EA-01, 79.04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la Estación EA-02 y 88.03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la Estación EA-03, todas ellas muy próximas al límite de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ establecido por el mismo decreto. Estos resultados indican que los niveles de PM en el área de estudio se mantienen dentro de los márgenes permitidos por la normativa nacional, evidenciando una calidad del aire que, aunque cercana a los límites establecidos, cumple con los estándares vigentes.

A su vez, según el ICA, la concentración de PM_{2,5} en la EA-01 y EA-02 se clasificaron como "Moderada" y en la EA-03 como "Insalubre para grupos sensibles". De la misma forma el ICA para las PM 10 fue de Moderada para las tres estaciones. Al contrastar los resultados con la Normativa Europea 2024, se observó que los niveles de PM 2,5 y 10 en todas las estaciones excedieron significativamente los límites establecidos, destacándose especialmente en la estación EA-03, que registró los valores más altos. Finalmente, al evaluar los datos bajo la directriz de la OMS 2021, los valores de los PM también superaron ampliamente los niveles recomendados, indicando una CA que supone un riesgo considerable para la salud, particularmente en la estación EA-03. Estos hallazgos resaltan la urgente necesidad de aplicar medidas de mitigación para disminuir los valores de material particulado en la zona de estudio.

La relación significativa de los materiales particulados PM 10 y PM 2,5 con la Comunidad Campesina de Pillao Matao es un aspecto a considerar. Dado que, según las estaciones de monitoreo, que fueron colocadas en puntos estratégico, indicaron que en las dos temporadas se tuvo una presencia superior de partículas por los estándares de la OMS y Unión Europea, siendo de especial preocupación la temporada seca donde la cantidad de material particulado es muy superior a las normas internacionales y cerca a los límites incluso de la norma del MINAM. A su vez, los vientos favorecen la dispersión de estas partículas en diversas direcciones que afectan el transporte de este material hacia la comunidad. Lo cual indica que la cantidad de partículas que son desplazadas afectan significativamente a los residentes del área.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la Comunidad Campesina Pillao Matao, las estaciones de monitoreo en la temporada de lluvias clasificaron los niveles de PM2.5 y PM10 dentro del rango "Buena" según el Índice de Calidad del Aire (ICA), mientras que, en la temporada seca, los valores se deterioraron significativamente. Para PM2.5, las estaciones EA-01 y EA-02 presentaron un estado "Moderado", y la EA-03 alcanzó un estado "Insalubre para grupos sensibles" con un ICA de 101, lo que implica un alto riesgo para personas con afecciones respiratorias o cardiovasculares. En cuanto a PM10, todas las estaciones en temporada seca mostraron un estado "Moderado", evidenciando también riesgos para la salud. Estas mediciones coinciden con las encuestas realizadas, donde el 88% de los encuestados percibió un aumento en la contaminación del aire, el 59% consideró que su salud estaba "muy afectada", y el 100% atribuyó problemas de salud a las obras de la trocha carrozable, identificándolas como la principal causa de la contaminación. La correlación entre los resultados del ICA y las respuestas a las preguntas 8, 9, 12 y 13 de las encuestas confirma el impacto directo de las emisiones de material particulado generado por las obras en la calidad del aire y la salud de la población, especialmente en zonas críticas como la estación EA-03.

Al comparar los resultados de la investigación con los antecedentes mencionados, se identifican tanto similitudes como diferencias notables en la concentración de PM y las condiciones ambientales en diferentes temporadas. Durante la temporada seca, es común observar un aumento en las concentraciones de PM debido a la menor humedad y la mayor suspensión de partículas. Por ejemplo, en el estudio de Mora (2022) en Tarqui-Guayaquil, se encontraron niveles de PM₁₀ que, aunque no excedieron los límites establecidos, eran notablemente altos durante la construcción, lo que contrasta con los resultados obtenidos en la temporada de lluvias en Pillao Matao, donde las estaciones EA-01 y EA-02 registran valores de PM₁₀ dentro de los estándares peruanos. Esto sugiere que las prácticas de control de emisiones en la temporada seca podrían ser aún más efectivas en Pillao Matao si se aplicaran de manera consistente.

Según en el estudio realizado por Tirado (2022) identificó concentraciones de PM₁₀ dentro de los límites en Ciudad Salitre, Fontibón, destacando la importancia de condiciones meteorológicas favorables para la dispersión de partículas, una dinámica observada durante la temporada seca. Sin embargo, en Pillao Matao, las condiciones durante la temporada seca permitieron que las concentraciones de PM no estuvieran dentro de los límites establecidos, lo que indica que la variabilidad climática entre las estaciones EA-01 y EA-03 es un factor crítico en la dispersión de partículas.

Por otro lado, Castro (2021) en Esmeraldas y Ojeda (2020) en Misantla subrayaron la influencia de factores meteorológicos locales, como los vientos fuertes y las temperaturas elevadas típicas de la temporada seca, que facilitan la dispersión de partículas, una variabilidad que también se observa en la temporada de lluvias en Pillao Matao, aunque con menor intensidad. En comparación, los resultados de Solís (2021) en Coyhaique, Chile, enfatizan la estacionalidad de las concentraciones de PM, especialmente en temporadas secas, lo que refleja la importancia de implementar políticas de mitigación continuas y ajustadas a las condiciones estacionales, un enfoque

que debería considerarse en Pillao Matao para abordar eficazmente las fluctuaciones estacionales en la CA.

Al comparar los hallazgos de la investigación actual con los antecedentes previos, se evidencian diferencias significativas en los niveles de PM y las condiciones ambientales entre distintas localidades y contextos de estudio. Por ejemplo, Barrientos y Espinoza (2021) encontraron concentraciones elevadas de PM₁₀ y PM_{2,5} durante el desarrollo de veredas en Huancavelica, superando los límites permitidos y clasificándose como de calidad del aire moderada e inadecuada para grupos sensibles, lo cual contrasta con los resultados de las tres estaciones en Pillao Matao en temporada seca. Gonzales (2022), al evaluar las emisiones de una planta procesadora de arroz en Rey León, encontró que la adopción de sistemas cerrados podría mitigar las emisiones y mejorar la CA, mientras que en Pillao Matao no se observó un cumplimiento general con los estándares de calidad. Por otro lado, Córdova (2020) estudió el impacto del tráfico vehicular en Lima, mostrando variaciones estacionales en la concentración de CO y SO₂, con resultados que indican una calidad del aire en deterioro, siendo contrastado con los datos de material particulado en Pillao Matao, donde se observa una preocupación en la estación EA-01 y EA-03 por los niveles de material que sobrepasan lo estimado por las normativas.

Se observa que el sentido predominante del viento en Cusco entre los años 2021 y 2022 ha sido noreste (NE), con una velocidad media de 1.8 m/s en 2021 y 1.5 m/s en 2022. Promediando estos valores, se obtiene una velocidad aproximada de 1.65 m/s con una dirección constante hacia el noreste. Esta información es relevante para entender el comportamiento y transporte del material particulado en la región. Sin embargo, al comparar estos datos generales con los resultados obtenidos en campo, se identificaron variaciones importantes en función de la estacionalidad (temporada seca y de lluvias) y las especificidades de los puntos de monitoreo.

Comparación entre la dirección del viento general y la evaluada en campo

En los sitios de monitoreo evaluados en la Comunidad Campesina de Pillao Matao, se analizaron las rosas de viento durante las temporadas seca y de lluvias:

Temporada seca: La dirección predominante del viento se mantuvo hacia el noreste (NE) en general, con una velocidad promedio de 2 m/s, ligeramente superior al promedio anual de Cusco. Esta mayor velocidad contribuyó al transporte más efectivo del material particulado hacia el suroeste (SO).

Temporada de lluvias: Durante este periodo, la intensidad del viento disminuyó a una medida de 1.2 m/s, y la dirección predominante mostró ligeros cambios hacia el este-noreste (ENE). Esto implicó una menor capacidad de dispersión del material particulado, favoreciendo su acumulación en las zonas cercanas a las fuentes emisoras.

Zonas afectadas por material particulado en los puntos de monitoreo

Punto 1: Localizado en el inicio de la trocha carrozable (km 0+000 - km 2+000), este punto registró las concentraciones más altas de PM10 y PM2.5 durante el desarrollo. La orientación del viento desplazó las partículas hacia el suroeste (SO), afectando principalmente las áreas residenciales cercanas.

Punto 2: Situado en el tramo medio (km 2+000 - km 4+000), presentó niveles moderados de material particulado en ambas temporadas. Durante la temporada de lluvias, la disminución de la velocidad del viento favoreció la acumulación de impurezas en la zona inmediata al punto de la emisión, mientras que en la temporada seca el material particulado fue transportado hacia el suroeste, impactando áreas agrícolas.

Punto 3: Ubicado al final de la trocha (km 4+000 - km 6+224), registró los niveles más bajos de PM10 y PM2.5, aunque las mediciones indicaron un aumento significativo durante la temporada seca. El viento desplazó las partículas hacia el suroeste, pero la

topografía y las barreras naturales limitaron la dispersión, concentrando los contaminantes en un área específica cercana.

Los resultados obtenidos son consistentes con investigaciones previas:

Dales & Macedo (2022): En su análisis sobre la calidad del aire en Cusco, encontraron que las emisiones de PM2.5 y PM10 de la industria ladrillera en San Jerónimo eran desplazadas predominantemente hacia el suroeste (SO) a velocidades de 3 m/s. Este estudio coincide con la tendencia de dirección del viento identificada en la Comunidad de Pillao Matao.

Condori & Huisa (2022): En su evaluación en las localidades de Cala Cala y Nueva Esperanza, observaron que las concentraciones de PM10 eran más elevadas en zonas cercanas a fuentes emisoras, disminuyendo gradualmente a medida que aumentaba la distancia y cambiaban las condiciones del viento. Este patrón también se refleja en los hallazgos de la presente investigación.

Barrientos & Espinoza (2021): En su análisis sobre la calidad del aire en Huancavelica, documentaron que las mayores concentraciones de PM10 y PM2.5 se registraban en áreas con menor velocidad del viento y topografía irregular. Esto refuerza la observación de que factores como la estacionalidad y la topografía influyen significativamente en la propagación del material particulado.

VI. Conclusiones

- En la trocha carrozable de la Comunidad Campesina Pillao Matao se generan emisiones de partículas en suspensión de PM10 y PM2,5, especialmente durante la el periodo seco, donde los niveles superan los estándares internacionales, en los nacionales se encuentran dentro de valores aceptables en PM2,5 y en PM 10 estuvieron cercanos al límite, lo cual evidencia una alteración en la pureza del aire relacionado con los compuestos producidos en dicha trocha.
- En la revisión del grado de emisión de partículas en suspensión (PM10 y PM2,5) en la trocha carrozable, se encontraron diferencias significativas entre las temporadas de precipitaciones y sequía. En la temporada de lluvias, los niveles de PM2,5 estuvieron por debajo de los rangos estipulados según la normativa peruana, europea y de la OMS, registrando valores de 0.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 0.21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en los puntos de evaluación. Los niveles de PM10 también estuvieron dentro de los rangos permitidos por la normativa peruana, con valores que oscilaron entre 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 42.02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Sin embargo, en la temporada seca, los niveles de PM2,5 aumentaron significativamente, registrando valores entre 25.64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 36.08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que los niveles de PM10 oscilaron entre 79.04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 82.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mostrando un incremento considerable respecto a la temporada de lluvia. Por lo cual, según los casos revisados, la hipótesis se acepta.
- La comparación entre la temporada de lluvias y seca con los ECA, evidencia que los valores de PM2,5 y PM10 estuvieron por debajo en la temporada de lluvias, lo que refleja una baja afectación ambiental en estas condiciones climáticas. Sin embargo, durante la temporada seca, los niveles de PM2,5 y PM10 superaron los valores máximos recomendados por el ICA, la normativa europea y las directrices de la OMS, evidenciando una mayor afectación en la calidad del aire. Esto indica que la trocha carrozable no cumple con los límites establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental, por lo que la hipótesis se acepta.

- El análisis realizado en la Comunidad Campesina Pillao Matao durante el año 2023 permitió determinar que la emisión de partículas en suspensión (PM2.5 y PM10) generada por los trabajos de la trocha carrozable impacta de manera significativa en la pureza del aire y en el bienestar de la población. Según la clasificación del Índice de Calidad Atmosférica, los registros de PM2.5 y PM10 varían de "Buena" en temporada de lluvias a "Moderada" e "Inadecuada para grupos vulnerables" en temporada seca, lo que coincide con la percepción de los habitantes. Las encuestas reflejaron que el 88% de los encuestados percibió un aumento en la contaminación del aire, y un alto porcentaje reportó afecciones respiratorias y crónicas relacionadas. Estos hallazgos confirman que la trocha carrozable representa un grado de riesgo considerable para la salud y calidad de vida de la población expuesta, afectando negativamente su calidad de vida.

VII. Recomendaciones

- Crear programas de educación ambiental dirigidos a los espacios cercanos a los que se trabaja. Esto incluye la sensibilización sobre la importancia de mantener la CA dentro de los estándares establecidos.
- El Ministerio del Ambiente debe actualizar los estándares de CA peruanos, puesto que son muy flexibles para determinar la CA, comparados a los internacionales, donde se han propuesto evidencias que esas cantidades de materiales particulados afectan la salud de las personas.
- La municipalidad debe mantener un monitoreo constante de la CA en las áreas cercanas a la trocha carrozable, puesto que, las condiciones climáticas cambian en las diferentes temporadas.
- La municipalidad debe reforzar el monitoreo en las áreas cercanas a la estación EA-01 y EA-03 y realizar una búsqueda de zonas con potencial para alcanzar niveles "Insalubre" según el ICA. Esto permitirá una respuesta rápida ante cualquier cambio en la CA y la implementación oportuna de medidas correctivas.
- La municipalidad debe incentivar el uso de prácticas de construcción y mantenimiento de trochas carrozables que minimicen la generación de partículas finas (PM 2,5), como el uso de técnicas de compactación adecuadas y materiales que reduzcan la generación de polvo.

VIII. Referencias

- AccuWeather, Inc. (14 de Setiembre de 2023). *CALIDAD ACTUAL DEL AIRE*.
<https://www.accuweather.com/es/pe/cusco/257812/air-quality-index/257812#:~:text=20%20%2D%2049-,La%20calidad%20del%20aire%20es%20generalmente%20aceptable%20para%20la%20mayor%20exposici%C3%B3n%20a%20largo%20plazo.&text=El%20aire%20ha%20alcanzado%2>
- Aeronáutica civil. (2018). *Metodología mediciones de calidad de aire*. Bogotá: Unidad Administrativa Especial Aeronáutica Civil. https://www.aerocivil.gov.co/servicios-a-la-navegacion/gestion-ambiental-y-control-de-fauna/Plan-Piloto-EIDorado/Informes_tecnicos/Cap.5.Metodolog%C3%ADa_calidad_aire.pdf
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (26 de Junio de 2023). *Conceptos básicos sobre el material particulado (PM, por sus siglas en inglés)*.
[https://espanol.epa.gov/espanol/conceptos-basicos-sobre-el-material-particulado-pm-por-sus-siglas-en-ingles#:~:text=PM%20significa%20material%20particulado%20\(tambi%C3%A9n,se%20encuentran%20en%20el%20aire.](https://espanol.epa.gov/espanol/conceptos-basicos-sobre-el-material-particulado-pm-por-sus-siglas-en-ingles#:~:text=PM%20significa%20material%20particulado%20(tambi%C3%A9n,se%20encuentran%20en%20el%20aire.)
- Alvarado, R. (2019). Evaluación de la calidad del aire por la emisión de material particulado en las piladoras Rey León S.A.C y Santa Clara, Cacatachi – 2018. *Pregrado*. Universidad César Vallejo, Tarapoto, Perú.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/39381>
- Arias, J. (2021). *Diseño Y Metodología De La Investigación*. Peru: Enfoques Consulting Eirl.
- Baena, G. (2017). *Metodología de la investigación*. México: Grupo Editorial Patria.
- Barrientos, A., & Espinoza, L. (2021). Evaluación de la calidad del aire por la emisión de material particulado en la construcción de pistas y veredas del jirón Odonovan–

Huancavelica, 2021. *Pregrado*. Universidad Nacional de HUancavelica, Huancavelica, Perú.
<https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/ad01a429-0302-4866-b039-4cba01645895/content>

CAME. (2020). *Índice aire y salud: características y aplicativo*. Ciudad de México: Comisión Ambiental de la Megalópolis.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554425/comunicado_indice_calidad_aire_05_2020_FINAL_v3.pdf

CAMFIL. (2020). *La importancia de la calidad de aire interior (CAI)*. Suecia: CAMFIL.
https://www.camfil.com/damdocuments/41676/1060048/pm1-booklet-_fa_es.pdf

Carrasco, S. (2019). *Metodología de la investigación*. Lima: San Marcos.

Castro, A. (2021). Análisis De La Calidad Del Aire Determinado Por Material Particulado Pm10 Y Pm2,5 En El Cantón De Esmeraldas. *Pregrado*. Pontificia Universidad Católica de Ecuador, Esmeraldas, Ecuador.
<https://repositorio.pucese.edu.ec/handle/123456789/2835>

Ceballos, M. (2020). *La calidad del aire en el Estado español durante 2019*. Madrid: Ecologistas en Acción. <https://www.ecologistasenaccion.org/wp-content/uploads/2020/06/informe-calidad-aire-2019.pdf>

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2018). *El aire: elemento de vida en la Tierra*. México: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
https://aire.org.mx/wp-content/uploads/2020/01/BIBLIOTECA1.CONANP_2018a.pdf

CONCYTEC. (2018). *Reglamento de calificación, clasificación y registro de los investigadores del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología de Innovación Tecnológica - Reglamento RENACYT*.

https://portal.concytec.gob.pe/images/renacyt/reglamento_renacyt_version_final.pdf

Condori, R., & Huisa, R. (2022). Evaluación de la calidad ambiental de aire en las comunidades campesinas de Cala Cala y Nueva Esperanza, Espinar, Cusco. *Pregrado*. Universidad César Vallejo, Cusco, Perú. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/110277>

Córodova, J. (2019). Índice de la calidad de aire de combustión del monóxido de carbono y dióxido de azufre del flujo vehicular en Pariachi y Huaycan. *Pregrado*. Universidad Peruana Unión, Lima, Perú. https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/1674/Jhon_Tesis_Licenciatura_2019.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Dalens, Z., & Macedo, T. (2022). Evaluación de la contaminación del aire por material particulado pm2.5 en la ciudad del cusco respecto de los índices de calidad del aire entre 2017 y 2018. *Pregrado*. Universidad César Vallejo, Cusco, Perú. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/99877>

Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM. (2017). *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias*. Lima: Diario El Peruano. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Proyecto-de-DS-ECA-AIRE.pdf>

Decreto Supremo N° 014-2010-MINAM. (2010). *Aprueban los Límites Máximos Permisibles para las Emisiones Gaseosas y de Partículas de las Actividades del Sub Sector Hidrocarburos*. Lima: El Peruano. <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2014/07/D.S.-N%C2%B0-014-2010-MINAM-LMP-para-las-Emisiones-Gaseosas-y-de-Part%C3%ADculas-de-las-Actividades-del-Sub-Sector-Hidrocarburos.pdf>

- Dirección de Gestión de Calidad Ambiental. (2020). *Intercambio de Experiencias: Contaminación atmosférica*. Costa Rica: DIGECA.
http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/calidad_de_aire_manuela_mata.pdf
- El Peruano. (29 de Marzo de 2023). *Respiramos aire de mala calidad*.
<https://www.elperuano.pe/noticia/208756-respiramos-aire-de-mala-calidad>
- Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia [UNICEF]. (2019). *Los efectos de la contaminación del aire y del cambio climático en la salud de la niñez en el Ecuador*. Quito: UNICEF.
https://www.unicef.org/ecuador/media/6611/file/Ecuador_el_aire_que_respiramos.pdf%20.pdf
- González, B. (25 de Febrero de 2019). *Conservación y protección del medio ambiente: importancia y medidas*. Ecologiaverde.com:
<https://www.ecologiaverde.com/conservacion-y-proteccion-del-medio-ambiente-importancia-y-medidas-1804.html>
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. México: Mc Graw Hill Education.
- Huaycani, E. (2021). Análisis ambiental de la calidad de aire por material particulado pm10 y pm2.5 en la red de monitoreo en el distrito de Tacna en el año 2015. *Posgrado*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú.
http://repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/4375/361_2021_huaycani_caceres_es_espg_maestria_gestion_ambiental_y%20desarrollo_sostenible.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- INEI. (2017). *Calidad del aire*. Lima: INEI.
https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1442/cap08.pdf

- INEI. (2017). *VIII. Calidad del aire*. Lima: INEI.
https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1442/cap08.pdf
- INSIVUMEH. (2022). *Informe mensual del índice de calidad del aire. Enero 2022*. Guatemala: INSIVUMEH. <https://insivumeh.gob.gt/wp-content/uploads/2019/10/ICA-Enero-2022.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2018). *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2017. Memoria de actividades*. Ciudad de México: INEGI.
https://www.google.com.pe/books/edition/Censo_Nacional_de_Gobiernos_Municipales/5CHZDwAAQBAJ?hl=es&gbpv=1
- Leal, Y. (2021). La contaminación ambiental y su influencia en los ecosistemas de páramo. *Revista Academia & Derecho*, 12, 1-16.
<https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/academia/article/view/8754/9694>
- Lezama, J. (2018). *Cambio climático, ciudad y gestión ambiental*. México: Sextil Online.
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2023). *Calidad del Aire y Salud*. Colombia: Ministerio de Salud y Protección Social.
<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/abace-calidad-aire-salud.pdf>
- Ministerio de Sanidad. (2019). *Elaboración de recomendaciones asociadas a la calidad de aire*. Madrid: Gobierno de España.
https://www.sanidad.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/docs/PLAN_AIRE_Medida_4_19_12_27.pdf

Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente. (2019). *5 de junio: Día Mundial del Medio Ambiente*. Uruguay: MVOTMA.
<https://www.ambiente.gub.uy/oan/documentos/contam.pdf>

Ministerio del Ambiente . (2019). *Protocolo nacional de monitoreo de la calidad ambiental de aire*. sinia.
https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/protocolo_monitoreo_aire.pdf

Ministerio del Ambiente. (2023). *Boletín Vigilancia de calidad del aire*. Lima: SENANHI.
<https://www.senamhi.gob.pe/load/file/03201SENA-116.pdf>

Miranda, J., Merma, L., & Herrera, M. (2019). Evaluación de la concentración de polvo atmosférico sedimentable y material particulado (PM2.5, PM10) para la gestión de la calidad del aire 2017, en la ciudad de Tacna. *Ingenierpia Investiga*, 1(1), 125-139.
<https://revistas.upt.edu.pe/ojs/index.php/ingenieria/article/view/128/113>

Ministerio del Ambiente. (2019). *Protocolo nacional de monitoreo de la calidad ambiental del aire*. Lima: Ministerio del Ambiente.
https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/434320/PROTOCOLO_MONITOREO_AIRE_compressed.pdf

Mora , A. (2022). Análisis de la calidad de aire (pm10) influenciada por la obra civil en la parroquia Tarqui de Guayaquil, 2022. *Pregrado*. Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Ecuador.
<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/MORA%20SOLIS%20ANDRES%20STEVE%20N.pdf>

Moreira, A. (2018). Contaminación del aire en el medio ambiente por las emisiones de gases tóxicos de empresas industriales en Ecuador. *Polo del Conocimiento*, 3(7),

299-306.

<https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/download/553/pdf>

Ñaupas, H., Valdivia, M., Palacios, J., & Romero, H. (2018). *Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis*. Bogotá: Ediciones de la U.

OEFA. (2021). *Factores que incluyen en el establecimiento de límites máximos permisibles para garantizar el cumplimiento de los estándares de calidad ambiental en agua*. OEFA.

https://repositorio.oefa.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12788/160/Grupo%2011_Flores%20Contreras.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ojeda, R. (2019). Evaluación de calidad del aire en Misantla por efecto de PM10 y PM2.5. *Pregrado*. Insituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz, México.
<https://rinacional.tecnm.mx/handle/TecNM/5196>

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2015). *Instrumentos básicos para fiscalización ambiental*. Lima: OEFA. https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=13978.8

Organización Mundial de la Salud [OMS]. (09 de Diciembre de 2022). *Contaminación del aire ambiente (exterior)*. [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)

Organizacion Naciones Unidas [ONU]. (4 de Abril de 2022). *Naciones Unidas*. <https://news.un.org/es/story/2022/04/1506592#:~:text=Casi%20toda%20la%20poblaci%C3%B3n%20mundial,sobre%20la%20calidad%20del%20aire>.

Palmett, A. (2020). Métodos Inductivo, Deductivo Y Teoría De La Pedagogía Crítica. *Petroglifos. Revista Crítica Transdisciplinar*, 36-42.
<https://petroglifosrevistacritica.org.ve/wp-content/uploads/2020/08/D-03-01-05.pdf>

- Paredes, M., Uribe, L., & Rosales, V. (2019). *Manual de Impacto Ambiental*. Bogotá: Ediciones de la U.
- Parker, A. (2021). *Contaminación del aire por la industria* (Primera edición ed.). Barcelona: Editorial Reverte.
https://www.google.com.pe/books/edition/Contaminaci%C3%B3n_del_aire_por_la_industria/VdMfEAAAQBAJ?hl=es&gbpv=1
- Pequeño, M., Rodríguez, E., Aguirre, O., Molina, V., Méndez, C., Buendía, E., & Sánchez, L. (2019). Análisis de las partículas en suspensión depositadas sobre vegetación arbórea en el noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(1), 205-213. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v10n1/2007-0934-remexca-10-01-205.pdf>
- Querol, X. (2018). *La calidad del aire en las ciudades: Un reto mundial* (Primera edición ed.). España: Fundación Gas Natural Fenosa.
<https://www.fundacionnaturgy.org/wp-content/uploads/2018/06/calidad-del-aire-reto-mundial.pdf>
- Ramirez, R. (14 de Marzo de 2023). *Solo 13 países y territorios tuvieron una calidad del aire "saludable" en 2022*. CNN Español:
<https://cnnespanol.cnn.com/2023/03/14/13-paises-calidad-aire-saludable-2022-trax/>
- Scheitel, M., Stanic, M., & Neuberger, M. (2016). PM10, PM2.5, PM1, number and surface of particles at the child's seat when smoking a cigarette in a car. *AIMS Environmental Science*, 3(4), 582-591.
https://www.researchgate.net/publication/308364944_PM10_PM25_PM1_number_and_surface_of_particles_at_the_child's_seat_when_smoking_a_cigarette_in_a_car

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2013). *Calidad del aire: una práctica de vida*. Ciudad de México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
<https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001593.pdf>
- Solis, R. (2021). Análisis de la calidad del aire en la ciudad más contaminada de Chile por material particulado fino: Coyhaique, Chile. *Pregrado*. Universidad de Chile, Santiago, Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/184248>
- Tirado, D. (2022). Evaluación de la calidad del aire por material particulado pm10 en una zona del barrio ciudad Salitre en la localidad de Fontibón, Colombia (UPZ110)”;.
Tesis pregrado. Universidad Libre, Bogota, Colombia.
<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/23665/1067959750.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Wieland, P. (2017). *Introducción al derecho ambiental* (Primera edición ed.). Lima: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
<https://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/170679/05%20Introducci%C3%B3n%20al%20derecho%20ambiental%20con%20sello.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes