

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
ESCUELA DE POSGRADO
Programa de Maestría en Gestión Ambiental



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

**Influencia de las emisiones de fábricas pesqueras sobre
la calidad del aire en el asentamiento humano
“15 de abril”, Chimbote, Perú, 2025**

**Tesis para obtener el grado de Maestro en
Ciencias en Gestión Ambiental**

Autor:

Ing. Vera Celis, Juan Edilberto
Código ORCID: 0009-0006-6793-7502

Asesor:

Dr. Moreno Rojo, Cesar
DNI. N° 32907242
Código ORCID: 0000-0002-7143-4450

Nuevo Chimbote - PERÚ
2026



CERTIFICACIÓN DEL ASESOR

Yo, **Dr. Cesar Moreno Rojo**, mediante la presente certifico mi asesoramiento de la tesis de Maestría titulada: **“Influencia de las emisiones de fábricas pesqueras sobre la calidad del aire en el asentamiento humano ‘15 de abril’, Chimbote, Perú, 2025”**, elaborada por el **Ing. Juan Edilberto Vera Celis**, ha sido elaborado de acuerdo al Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, abril del 2026

Dr. Moreno Rojo, Cesar

Asesor

DNI N°. 32907242

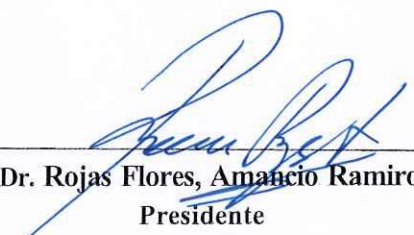
Código ORCID: 0000-0002-7143-4450



AVAL DE CONFORMIDAD DEL JURADO

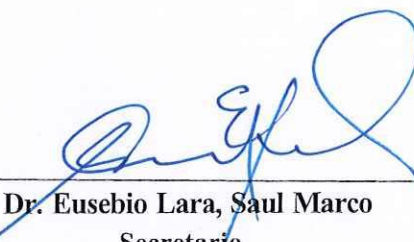
Tesis de Maestría titulada: **“Influencia de las emisiones de fábricas pesqueras sobre la calidad del aire en el asentamiento humano ‘15 de abril’, Chimbote, Perú, 2025”**, elaborada por el **Ing. Juan Edilberto Vera Celis**.

Revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador:



Dr. Rojas Flores, Amancio Ramiro
Presidente

DNI N° 32806031
Código ORCID: 0000-0003-4897-7585



Dr. Eusebio Lara, Saul Marco
Secretario

DNI N° 32854604
Código ORCID 0000-0001-6875-240X



Dr. Moreno Rojo, Cesar
Vocal

DNI N°. 32907242
Código ORCID: 0000-0002-7143-4450



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

A los cinco días del mes de mayo del año 2026, siendo las 10.30 horas, en el aula P-02 de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador, designados mediante Resolución Directoral N° 265-2026-EPG-UNS de fecha 06.04.2026, conformado por los docentes: Dr. Amancio Ramiro Rojas Flores (Presidente), Dr. Saul Marco Eusebio Lara (Secretario) y Dr. Cesar Moreno Rojo (Vocal); con la finalidad de evaluar la tesis intitulada: **INFLUENCIA DE LAS EMISIONES DE FÁBRICAS PESQUERAS SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL ASENTAMIENTO HUMANO "15 DE ABRIL", CHIMBOTE, PERÚ, 2025**; presentado por el tesista Juan Edilberto Vera Celis, egresado del programa de **Maestría en Gestión Ambiental**.

Sustentación autorizada mediante Resolución Directoral N° 330-2026-EPG-UNS de fecha 29 de abril de 2026.

El presidente del jurado autorizó el inicio del acto académico; producido y concluido el acto de sustentación de tesis, los miembros del jurado procedieron a la evaluación respectiva, haciendo una serie de preguntas y recomendaciones al tesista, quien dio respuestas a las interrogantes y observaciones.

El jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, declara la sustentación como EXCELENTE, asignándole la calificación de 19.

Siendo las 11.30 horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando la presente acta en señal de conformidad.


Dr. Amancio Ramiro Rojas Flores
Presidente


Dr. Saul Marco Eusebio Lara
Secretario


Dr. Cesar Moreno Rojo
Vocal/Asesor

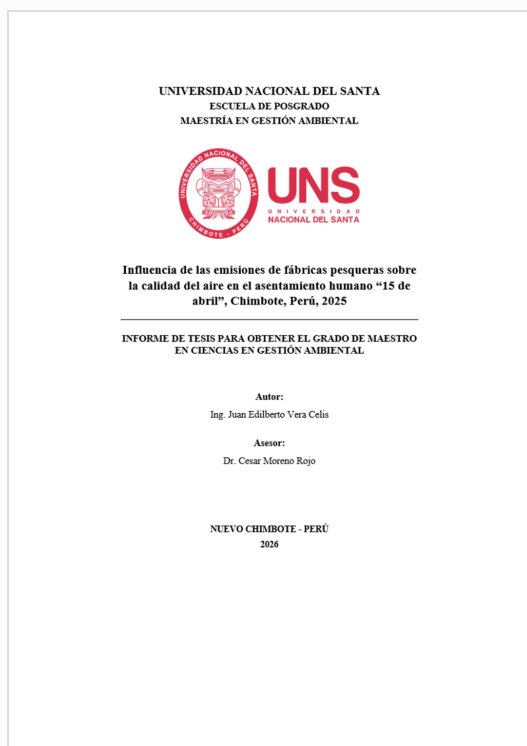


Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: JUAN VERA
Título del ejercicio: PTI JUAN VERA
Título de la entrega: INFORME FINAL-JUAN VERA
Nombre del archivo: INFORME_DE_TESIS_JUAN_VERA_CORREGIDO_-_11.05.2026_-_T...
Tamaño del archivo: 1.09M
Total páginas: 61
Total de palabras: 16,526
Total de caracteres: 88,505
Fecha de entrega: 11-may-2026 08:42p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2958903932



INFORME FINAL-JUAN VERA

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

13%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.unjfsc.edu.pe

Fuente de Internet

1%

2

1library.co

Fuente de Internet

1%

3

repositorio.upt.edu.pe

Fuente de Internet

1%

4

siar.regionsanmartin.gob.pe

Fuente de Internet

1%

5

Submitted to Universidad Continental

Trabajo del estudiante

1%

6

www.munisocabaya.gob.pe

Fuente de Internet

1%

7

www.dspace.uce.edu.ec

Fuente de Internet

1%

8

dspace.unitru.edu.pe

Fuente de Internet

1%

9

cybertesis.unmsm.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

10

alicia.concytec.gob.pe

Fuente de Internet

<1%

11

sedici.unlp.edu.ar

Fuente de Internet

<1%

12

repositorio.lamolina.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

DEDICATORIA

A Dios por darme la fuerza necesaria para no desistir de lograr este objetivo.

A mi madre por su amor y su apoyo incondicional.

A la memoria de mi amado padre Neptali que, desde el cielo, nos sigue cuidando.

A Ledy, mi amada esposa, por nunca soltarme la mano en todo este camino.

A Milagritos, la Luz de mis ojos, su amor, alegría y todo su ser, son el combustible para seguir adelante día a día.

A mis hermanos Antonio, Diana, Martha y Angelita, por su constante apoyo y motivación.

A la memoria de mis amadas hermanas Maritza y Teresa que, desde el cielo nos siguen cuidando.

AGRADECIMIENTO

El principal agradecimiento a Dios quién me ha guiado y me ha dado la fortaleza para seguir adelante.

A mi familia por su comprensión y estímulo constante, además su apoyo incondicional a lo largo de mis estudios.

Y a todas las personas que de una y otra forma me apoyaron en la realización de este trabajo.

A mi asesor el Dr. Cesar Moreno Rojo por su valioso aporte en el desarrollo de este trabajo de investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CONSTANCIA DE ASESORAMIENTO DE LA TESIS DE MAESTRIA	2
ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD	3
DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA	4
DEDICATORIA.....	5
AGRADECIMIENTO	6
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	7
ÍNDICE DE TABLAS.....	9
ÍNDICE DE FIGURAS	10
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
I. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	13
1.2. OBJETIVOS	17
1.3. HIPÓTESIS	17
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	18
II. MARCO TEÓRICO	20
2.1. ANTECEDENTES	20
2.2. MACO REFERENCIAL	25
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.....	38
III. METODOLOGÍA.....	42
3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	42
3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	42
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	42
3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	43
3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	44
3.6. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	44
3.7. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	45
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
4.1. RESULTADOS	46
4.2. DISCUSIÓN	64

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
5.1. CONCLUSIONES	69
VI. ANEXOS	78
A. TABLAS	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Perú: Clasificación y valores del Índice de Calidad del Aire	28
Tabla 2. Perú: Riesgos y recomendaciones según el nivel de calidad del aire	28
Tabla 3. Perú: Índice de Calidad de Aire para PM ₁₀ y PM _{2.5}	31
Tabla 4. Perú: Índice de Calidad de Aire para sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)	32
Tabla 5. Perú: Índice de Calidad de Aire para dióxido de azufre (SO ₂).....	33
Tabla 6. Perú: Estándares nacionales de calidad ambiental para aire	36
Tabla 7. Límites Máximos Permisibles para las emisiones de la industria de harina y aceite de pescado y harina de residuos hidrobiológicos	37
Tabla 8. Niveles recomendados de las directrices sobre la calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud	38
Tabla 9. Matriz de operacionalización de variables	43
Tabla 10. Pruebas de normalidad para concentración de SO ₂	52
Tabla 11. Prueba para una muestra, concentración de SO ₂	53
Tabla 12. Prueba de normalidad para concentración SO ₂ (abril-mayo 2025).....	54
Tabla 13. Prueba de normalidad para concentración de H ₂ S	56
Tabla 14. Prueba de una muestra para concentración H ₂ S	57
Tabla 15. Prueba de normalidad para concentración PM ₁₀	58
Tabla 16. Prueba para una muestra para concentración PM ₁₀	59
Tabla 17. Prueba para una muestra para concentración de PM _{2.5}	60
Tabla 18. Prueba t para una muestra para concentración PM _{2.5}	61
Tabla 19. Prueba de normalidad para concentración de PM _{2.5}	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Geolocalización del Asentamiento Humano “15 de abril”	16
Figura 2. Niveles de H ₂ S en las fábricas pesqueras de la Zona Industrial Gran Trapecio, 2025	46
Figura 3. Niveles de PM _{2.5} en las fábricas pesqueras de la Zona Industrial Gran Trapecio, 2025	47
Figura 4. Niveles de PM ₁₀ en las fábricas pesqueras de la Zona Industrial Gran Trapecio, 2025	48
Figura 5. Niveles de SO ₂ en el Asentamiento Humano “15 de abril”, 2025	49
Figura 6. Niveles de H ₂ S en el Asentamiento Humano “15 de abril”, 2025	50
Figura 7. Niveles de PM _{2.5} en el Asentamiento Humano “15 de abril”, 2025	50
Figura 8. Niveles de PM ₁₀ en el Asentamiento Humano “15 de abril”, 2025	51
Figura 9. Concentración promedio SO ₂	53
Figura 10. Concentración promedio de SO ₂ (abril-mayo 2025).....	55
Figura 11. Concentración promedio de H ₂ S	57
Figura 12. Concentración promedio de PM ₁₀	59
Figura 13. Concentración promedio de PM _{2.5}	61
Figura 14. Concentración promedio de PM _{2.5}	63

RESUMEN

En la presente investigación se planteó como objetivo general determinar la influencia de las emisiones de las fábricas pesqueras en la calidad del aire del Asentamiento Humano “15 de abril” del distrito de Chimbote en el año 2025. La investigación empleó los métodos inductivo-deductivo y no experimental, además de un diseño correlacional y la técnica de observación, realizándose las mediciones de calidad del aire a partir de humos de las fábricas pesqueras de la Zona Industrial Gran Trapecio y la estación de monitoreo de calidad del aire CA-01 CHIMBOTE (OEFA) ubicada en la I.E. Inca Garcilaso de la Vega N° 88011 de la Urb. El Trapecio, ambos en el distrito de Chimbote.

Se obtuvo como principales resultados que el Asentamiento Humano “15 de abril” presenta niveles elevados de dióxido de azufre (SO_2), con un pico de 133.3 ug/m^3 , y material particulado fino ($\text{PM}_{2.5}$), con un pico de 25.3 ug/m^3 , los cuales, si bien no trasgreden los estándares nacionales de calidad del aire, superan las directrices internacionales fijadas por la Organización Mundial de la Salud y la Unión Europea. Se concluyó que las emisiones de las fábricas pesqueras tuvieron una influencia negativa directa sobre la calidad del aire del Asentamiento Humano “15 de abril” en el año 2025, debido a la carga contaminante emitida en la Zona Industrial Gran Trapecio.

Palabras clave: Calidad del aire, contaminación ambiental, industria pesquera, material particulado, dióxido de azufre.

ABSTRACT

The general objective of this research was to determine the influence of emissions from fish processing plants on air quality in the "15 de abril" Human Settlement in the district of Chimbote in the year 2025. The research employed inductive-deductive and non-experimental methods, as well as a correlational design and the observation technique. Air quality measurements were taken from smoke emitted by fish processing plants in the Gran Trapecio Industrial Zone and from the CA-01 CHIMBOTE air quality monitoring station (OEFA) located at the Inca Garcilaso de la Vega School No. 88011 in the El Trapecio Urbanization, both in the district of Chimbote.

The main findings revealed that the "15 de abril" Human Settlement exhibits high levels of sulfur dioxide (SO₂), peaking at 133.3 µg/m³, and fine particulate matter (PM_{2.5}), peaking at 25.3 µg/m³. While these levels do not exceed national air quality standards, they surpass international guidelines set by the World Health Organization and the European Union. It was concluded that emissions from fish processing plants had a direct negative impact on the air quality of the "15 de abril" Human Settlement in 2025, due to the pollutant load emitted in the Gran Trapecio Industrial Zone.

Keywords: Air quality, environmental pollution, fishing industry, particulate matter, sulfur dioxide.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La calidad del aire en una zona determinada depende del nivel de concentración en la atmósfera de algunos contaminantes, que en concentraciones superiores a los límites establecidos pueden resultar peligrosos para la salud de las personas y la calidad de los ecosistemas naturales (Organización Mundial de la Salud, 2019). El diseño de las ciudades es de gran importancia en cuanto a la calidad del aire local se refiere, ya que los elementos que lo configuran (principalmente los aspectos relacionados con la movilidad y los procesos industriales) determinan, junto con las condiciones meteorológicas (temperatura, humedad, etc.), la emisión, distribución y difusión de los contaminantes atmosféricos (Organización Mundial de la Salud, 2019).

Según informa la OMS (2022), en el año 2019, el 99% de la población mundial vivía en zonas donde no se respetaban los lineamientos de la OMS sobre la calidad del aire, de tal modo que en la actualidad se estima que la contaminación del aire ambiente (entiéndase como aire del exterior) provoca en todo el mundo un aproximado de 4,2 millones de muertes prematuras anualmente. A propósito, se ha determinado, incluso legislativamente, que los principales contaminantes del aire ambiente son el dióxido de azufre (SO₂), el dióxido de nitrógeno (NO₂), el monóxido de carbono (CO), el ozono (O₃), el plomo (Pb), el sulfuro de hidrógeno (H₂S), las partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀) y las partículas menores a 2.5 micrómetros (PM_{2.5}), entre otros (Decreto Supremo N°003-2017-MINAM, p. 9).

En aras de esclarecer el tema, resulta importante señalar que los contaminantes del aire pueden clasificarse según criterios distintos. Flores, López y Albert (1995) mencionan que, de acuerdo a su fuente, los contaminantes pueden ser de fuente naturales (ej. gases de volcanes, polvo) o antropogénica (ej. vahos de los vehículos a motor y las industrias); de acuerdo a su origen, pueden ser primarios (emitidos de forma directa a la atmósfera, ej. el H₂S) o secundarios (de manera indirecta a través de procesos químicos atmosféricos, ej. el H₂SO₄); de acuerdo a su estado pueden ser gases (ej. monóxido de carbono, ozono, sulfuro de hidrógeno) o, con menos frecuencia, aerosoles que se presentan en forma líquida o sólida.

La principal fuente mundial de contaminación atmosférica, denominada también contaminación del aire, es la actividad industrial (clasificada como fuente antropogénica),

habida cuenta de que las emisiones de gases provenientes del procesamiento de materia prima constituyen los principales contaminantes del aire. Con el fin de determinar y preservar la calidad del aire, los organismos supranacionales y nacionales han elaborado distintos instrumentos de gestión ambiental, entre los cuales destacan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y los Límites Máximos Permisibles (LMP).

A nivel internacional destacan las Directrices mundiales sobre Calidad del Aire (DCA), elaboradas por la Organización Mundial de la Salud, las cuales contienen recomendaciones relativas a niveles indicativos sobre la calidad del aire para seis contaminantes atmosféricos (PM_{2.5}, PM₁₀, O₃, NO₂, SO₂ y CO), siendo su última actualización en el año 2021. A nivel nacional, se tiene en el más alto nivel jerárquico normativo a la Constitución Política del Perú, en cuyo artículo 2°, numeral 22, regula, aunque de modo genérico y sin un desarrollo más allá de lo enunciativo, el derecho a un medio ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el desarrollo de la vida.

Asimismo, el artículo 7° literal d) del Decreto Legislativo N° 1013, mediante el cual se aprobó la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente (MINAM), establece que es una función específica del MINAM elaborar los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) a nivel nacional, los cuales deberán aprobarse a través de un decreto supremo. En esa línea, mediante Decreto Supremo N°003-2017-MINAM, se aprobaron los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire en el Perú. Respecto a esta última normativa, destaca su anexo, en el que se regulan los parámetros que deben cumplir los principales contaminantes de la atmósfera (material particulado, H₂S, Pb, O₃, SO₂, C₆H₆, NO₂, CO, CO₂, entre otros) para ser considerados conforme a los ECA para aire.

El Perú es un país en el que las industrias pesquera, agrícola y siderúrgica se han desarrollado por encima de las demás, destacándose en el ámbito pesquero por la producción de harina y aceite de pescado. Estas industrias, sumadas a los servicios de transporte en los que se emplean vehículos a motor, constituyen las principales fuentes de contaminación atmosférica por emisiones, las cuales han proliferado con el pasar de las décadas gracias a la inminente globalización y al esquema neoliberal implementado desde principios de la década de los 90', en el cual el Estado priorizó los componentes económicos y sociales antes que el medio ambiente y la salud pública.

Justamente, debido a la actividad industrial y vehicular, la calidad del aire en nuestro país se enmarca en un panorama desalentador. En el 2021, el World Air Quality Report, el cual es un informe elaborado por la empresa privada IQAir, ha mostrado una realidad alarmante; y es que la más baja calidad de aire a nivel de América Latina la tiene nuestro país, presentando, por ejemplo, una cantidad de $29.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respecto a material particulado PM_{2.5}. Esta cantidad es elevada a comparación con otros países como Chile ($21.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$), México ($19.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Colombia ($14.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$), en los cuales existe menor concentración de material particulado y, en consecuencia, mejor calidad de aire.

Circunscribiéndonos al ámbito local, el distrito de Chimbote, ubicado en la provincia del Santa y el departamento de Áncash, es una de las ciudades con mayor contaminación atmosférica a nivel nacional, y ello se debe en gran medida a los vahos que emanan las plantas pesqueras, por cuanto la pesca (como actividad extractiva) y la industria pesquera (como actividad transformativa) constituyen las principales actividades económicas del distrito (Kuramoto, 2005). En Chimbote se ubica uno de los mayores parques industriales de procesamiento de harina de pescado a nivel nacional. Debido a la actividad económica realizada y a la presencia de importantes empresas pesqueras con productos de exportación, se ha detectado un alto índice de contaminación ambiental, debido a las emanaciones de los humos y gases tóxicos al ambiente.

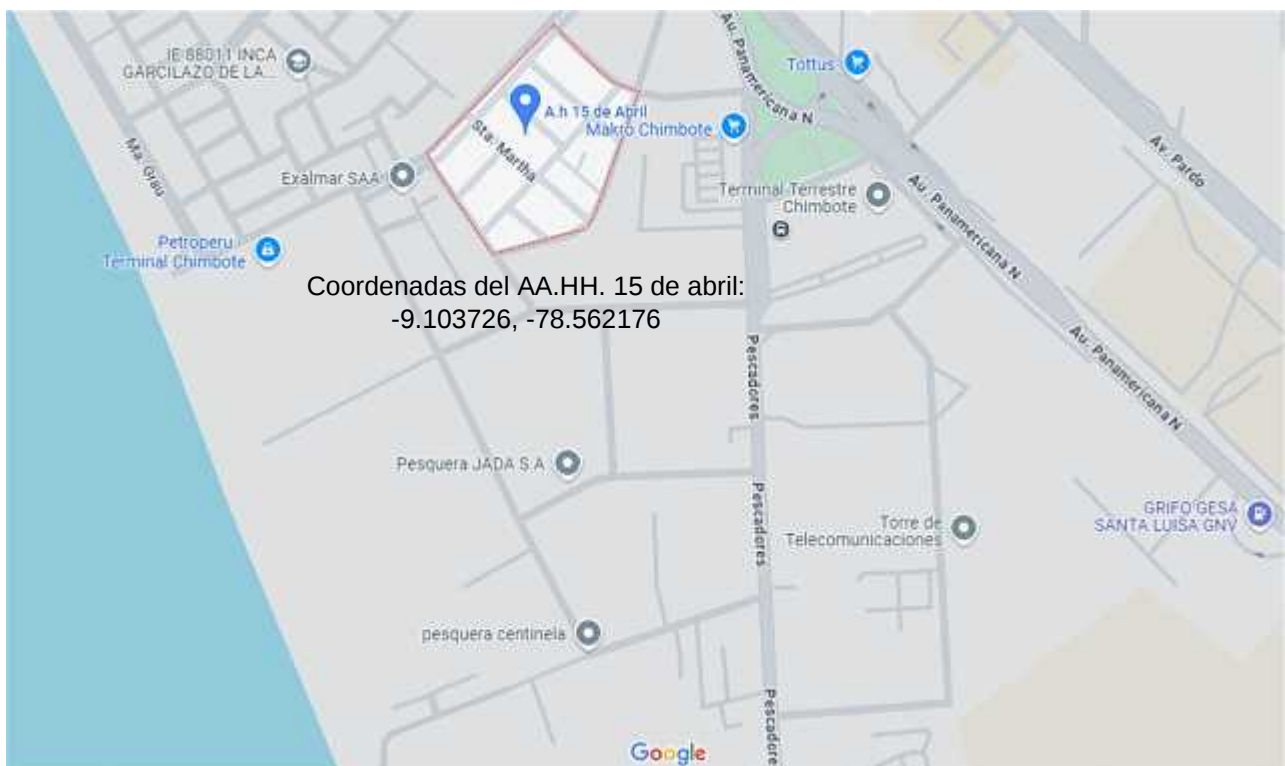
El “boom pesquero” de los años 50’ afloró principalmente en el puerto de Chimbote, en donde paulatinamente se fueron construyendo fábricas pesqueras para el tratamiento de harina y aceite de pescado. No obstante, la industrialización de Chimbote ocasionó, a mediados de los años 60’, un creciente registro de contaminación ambiental, especialmente evidenciable en las masas de agua y la atmósfera, a tal magnitud que en la actualidad las fábricas asociadas a la industria pesquera constituyen la fuente principal de contaminación en Chimbote (Contreras, 2011). Los efectos son notorios, basta con ver al respecto la pérdida de biodiversidad en las aguas, la contaminación de la bahía del Ferrol y los hediondos olores que emanan las chimeneas de las plantas pesqueras.

En las temporadas de producción de las fábricas pesqueras se puede observar una nube espesa y una alta concentración de emanaciones de gases en el ambiente, lo cual repercute en la salud de los pobladores chimbotanos ocasionándoles enfermedades respiratorias, alérgicas y bronquio-pulmonares, con especial incidencia en los niños, ancianos y mujeres embarazadas, quienes conforman la población más sensible (Kuramoto, 2005). En efecto, la actividad industrial pesquera, aunada a la contaminación del parque

automotor, las emanaciones de la industria siderúrgica y la quema de basura en el relleno sanitario del distrito de Chimbote son las principales causas de la contaminación de la atmósfera. Las zonas más afectadas por la contaminación atmosférica en Chimbote son aquellas aledañas a las fábricas pesqueras, entre ellas el Asentamiento Humano “15 de abril”.

El Asentamiento Humano “15 de abril” es un núcleo urbano del distrito de Chimbote, provincia del Santa, departamento de Áncash, fundado el 15 de abril del año 1983 y ubicado próximo al clúster de la industria pesquera chimbotana. Según información brindada por su actual dirigente, en el 2019 el Asentamiento Humano “15 de abril” contaba con un aproximado de 900 habitantes y 204 viviendas (E. Peña, comunicación personal, 28 de diciembre de 2024). A efectos de una mejor comprensión sobre la ubicuidad del núcleo urbano en mención, se presenta su geolocalización en la siguiente figura:

Figura 1. Geolocalización del Asentamiento Humano “15 de abril”



Finalmente, es menester mencionar que la contaminación del aire ocasionada por la actividad de las fábricas pesqueras no es un rubro de la realidad social que se encuentre exento de control normativo, más aún si se tiene en cuenta el efecto negativo que desencadena en el ambiente y la salud humana. nuestro gobierno. Así pues, el Ministerio

de la Producción - PRODUCE y el Ministerio del Ambiente – MINAM son los principales gestores y protagonistas de los marcos normativos nacionales destinados a controlar y mitigar los vahos contaminantes que emanan de las plantas pesqueras, cuyo perjuicio para el medio ambiente es evidente.

A partir de lo expuesto, se apreció que la realidad antes detallada constituye un problema actual de relevancia científica, especialmente para el sector de gestión ambiental, de tal manera que el enunciado del problema se plasmó en la siguiente interrogante: ¿Cuál es la influencia de las emisiones de las fábricas pesqueras sobre la calidad del aire en el Asentamiento Humano “15 de abril” del distrito de Chimbote, provincia del Santa, departamento de Áncash, en el año 2025?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

Determinar la influencia de las emisiones de las fábricas pesqueras en la calidad del aire del Asentamiento Humano “15 de abril” del distrito de Chimbote en el año 2025.

1.2.2. Objetivos específicos

- a) Analizar la concentración de los contaminantes SO_2 , H_2S , PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$ en las emisiones de las fábricas pesqueras aledañas al Asentamiento Humano “15 de abril” del distrito de Chimbote en el año 2025.
- b) Analizar la calidad del aire en el Asentamiento Humano “15 de abril” del distrito de Chimbote en el año 2025.
- c) Evaluar estadísticamente, a través de la prueba t-Student, el impacto de las emisiones de las fábricas pesqueras en la calidad del aire del Asentamiento Humano “15 de abril” del distrito de Chimbote en el año 2025.

1.3. HIPÓTESIS

A modo de respuesta ante el problema, formulado en sentido interrogativo, se planteó la siguiente hipótesis: Las emisiones de las fábricas pesqueras tienen una influencia negativa sobre la calidad del aire en el Asentamiento Humano “15 de abril” del distrito de Chimbote en el año 2025.

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Los seres humanos contamos con un derecho universal a gozar de un medio ambiente sano y equilibrado para el desarrollo de nuestra vida, derecho que ha sido positivizado en nuestra Constitución Política de 1993 y en la Ley General del Ambiente - Ley N°28611. Parte esencial de este derecho consiste en que el ser humano debe vivir, en la medida de lo posible, sin la influencia negativa de agentes contaminantes que perjudiquen el medio ambiente y su salud.

En el ámbito de la industria pesquera, la realización permanente de monitoreos ambientales es realmente importante, dado que nos faculta identificar los niveles de diversos contaminantes emitidos por la planta pesquera en un periodo determinado y, por ende, evaluar si estos se adecúan a los parámetros establecidos por las normas nacionales e internacionales. En tal sentido, la contaminación del aire por causa de los humos provenientes de las fábricas pesqueras en el Asentamiento Humano “15 de abril” del distrito de Chimbote podría estar quebrantando la salud de las personas y el medio ambiente, traspasando los ECA para aire establecidos en la normativa nacional, por lo cual resulta importante realizar una evaluación integral para tener herramientas que, a futuro, permitan contrarrestar o mitigar la contaminación ambiental de la zona.

La justificación práctica y social de la presente investigación reside en que, a través de la evaluación de los niveles de concentración de las emisiones provenientes de las fábricas pesqueras aledañas al Asentamiento Humano “15 de abril” del distrito de Chimbote, en el año 2025, y su posterior comparación con los parámetros de calidad del aire establecidos por las normas nacionales, podrán establecerse nuevos procedimientos, métodos de muestreo y métodos de análisis de las emisiones atmosféricas de la actividad pesquera respecto a los contaminantes identificados, estableciendo criterios técnicos que permitan a las empresas rediseñar e implementar mejores programas de monitoreo de emisiones; asimismo, permitirá a la autoridad ambiental competente realizar el control y la vigilancia de la contaminación atmosférica en la zona detallada.

De esta manera, se contribuirá de forma paralela a conocer la calidad del aire del Asentamiento Humano “15 de abril” y su relación con las emisiones de las empresas pesqueras aledañas; de igual forma, la presente investigación contribuirá a que las empresas contaminantes realicen acciones de mejora de la eficiencia productiva y su desempeño ambiental, lo cual tendrá beneficios a nivel económico y social, sin mencionar

el beneficio para la salud (especialmente a nivel respiratorio) de los pobladores de dicho núcleo urbano.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

Córdova, Barrios y Córdova (2021), en su artículo científico titulado “Primera caracterización de emisiones contaminantes y la calidad del aire en Ica, Perú”, analizaron las concentraciones de dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), sulfuro de hidrogeno (H₂S) y material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}) en dos puntos de monitoreo de calidad del aire en el cercado del distrito de Ica. Los autores concluyeron que se registró una concentración de material particulado PM₁₀ y de gases (SO₂, NO₂, y H₂S), menor a los límites establecidos por la norma peruana; en cambio, la concentración de material particulado PM_{2.5} superó hasta en 128% el valor máximo establecido en la norma de calidad ambiental nacional.

Delgado y Aguirre (2020), en su artículo científico titulado “Modelamiento y evaluación del nivel de calidad del aire mediante el análisis de grey clustering, estudio de caso Lima metropolitana”, evaluaron el nivel de calidad de aire en diez distritos de Lima Metropolitana, teniendo como principales indicadores el material particulado PM₁₀ y PM_{2.5}, el dióxido de azufre (SO₂) y el dióxido de nitrógeno (NO₂). Los autores concluyeron que el distrito de Lima metropolitana con mayor contaminación atmosférica, en el año 2017, fue Ate Vitarte, en tanto que el menos contaminado fue San Martín de Porres.

Montenegro y Luján (2018), en su artículo científico titulado “Análisis de la variación estacional de la contaminación atmosférica y su relación con variables climáticas en el valle central de Cochabamba, Bolivia”, analizaron cómo varían los contaminantes primarios dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂), ozono troposférico (O₃) y material particulado PM₁₀, según el espacio y la estación en la que se producen, en torno al monitoreo realizado por la red “Monica” en la ciudad de Cochabamba. Los investigadores determinaron que el NO₂ y el SO₂ son más elevados en los meses, a diferencia de lo que sucede en verano, pues la ventilación de la atmósfera es menor en los meses fríos. El estudio concluye demostrando que la población Cochabambina se encuentra expuesta a riesgos mayores por contaminantes atmosféricos en los meses de invierno.

Tijero (2022), en su tesis de maestría en procesos químicos y ambientales, titulada “Tratamiento químico de los efluentes gaseosos (sulfuro de hidrógeno y trimetilamina)

de las plantas pesqueras y la reducción de su impacto ambiental en la ciudad de Pisco 2017”, indagó acerca de la neutralización de los malos olores de los humos y vapores provenientes del secado de la harina de pescado, tratándose muestras de aire tomadas en una planta harinera, las cuales contenían sulfuro de hidrógeno (H₂S) y trimetilamina (TMA). Estas muestras se trataron con hipoclorito de calcio e hidróxido de calcio para neutralizar los contaminantes. Finalmente, el autor concluye que la neutralización fue exitosa y originó una reducción considerable de ambos contaminantes de 14,05 µg/m³ hasta 0,55 µg/m³ para el H₂S y 46,09 µg/m³ hasta 1,86 µg/m³ para la trimetilamina.

Custodio (2018), en su tesis para obtener el grado de maestro en gestión ambiental, titulada “Impactos ambientales del dióxido de azufre y material particulado (PM_{2.5}), sobre la calidad del aire. Chimbote, 2014-2016”, tuvo como objetivo determinar el impacto ambiental del dióxido de azufre y el material particulado PM_{2.5} sobre la calidad del aire en el distrito de Chimbote, entre los años 2014 y 2016. La recolección de datos se realizó de la fuente de información de la Municipalidad de la Provincia del Santa. El autor identificó un total de 23 impactos negativos producidos por las actividades de la siderúrgica, las empresas pesqueras y las vías no pavimentadas, concluyendo que el dióxido de azufre y el material particulado PM_{2.5} afectan la calidad del aire de manera muy significativa.

Santiago (2023), en su tesis denominada “Tratamiento de efluentes e impacto en el medio ambiente en la planta pesquera Don Américo – Carquín, 2022”, tuvo como objetivo determinar la influencia del tratamiento de efluentes en el impacto ambiental de la planta pesquera Don Américo – Carquín, en el año 2022. La investigación realizada fue de tipo observacional, prospectivo, longitudinal, con un diseño metodológico descriptivo. Para el procesamiento de datos, se empleó tablas y gráficos descriptivos, los cuales presentaron los límites máximos permisibles para cada indicador. El autor concluyó que el tratamiento de los efluentes no influye en el impacto ambiental de la planta pesquera Don Américo – Carquín en el año 2022, toda vez que estos no sobrepasas los límites máximos permisibles establecidos por el D.S. N°011-2009-MINAM.

Ramírez (2021), en su tesis para obtener el título de ingeniero pesquero, titulada “La Industria Pesquera y sus Compromisos Ambientales por medio del Organismo de Inspección de Hidrosat y Medio Ambiente SAC - Colpex International SAC - Chimbote”, se planteó como objetivo determinar la calidad de aire y el ruido ambiental realizado por la empresa Hidrosat y Medio Ambiente SAC durante los años 2016, 2017 y 2018, en

COLPEX INTERNATIONAL SAC. El autor identificó que el material particulado PM10 se encontraba entre 10,08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 71,72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que el sulfuro de hidrógeno (H_2S) se encontraba entre 2,08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 2,40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en tanto que ambos valores se encuentran dentro de los Estándares de Calidad Ambiental establecidos mediante D.S. N°074-2001-PCM y D.S. N° 003-2008-MINAM.

Galarreta (2019), en su tesis de maestría en ciencias de gestión ambiental, titulada “Concentración de sulfuro de hidrógeno y partículas en suspensión en el aire, en los días de pesca en tres distritos de la Provincia del Santa Coischo, Chimbote y Nuevo Chimbote en el 2017”, buscó determinar la concentración de H_2S (sulfuro de hidrógeno) y material particulado PM10 en el aire de los distritos de Coishco, Chimbote y Nuevo Chimbote, de la provincial del Santa. Los valores máximos de H_2S (7.84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y de PM10 (47.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), al compararlos con los establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental del aire en el Perú, se ubicaron por debajo de los límites máximos permitidos, concluyendo el autor que estos valores no representan un peligro para la salud.

Díaz (2019), en su tesis para para obtener el título profesional de ingeniero ambiental, titulada “Niveles de concentración de PM10, NO_2 , SO_2 , H_2S , CO y variables meteorológicas en la zona industrial de Villa El Salvador”, se planteó como objetivo determinar las concentraciones de material particulado PM10, gases contaminantes NO_2 , SO_2 , H_2S y CO, así como el comportamiento de las variables meteorológicas en la zona industrial del distrito de Villa El Salvador. Se tuvo como resultado que el PM10 excedió los límites máximos permisibles, mientras que el NO_2 , SO_2 , H_2S y CO se encontraron por debajo del límite máximo permisible que establecen los estándares de calidad ambiental para aire. El autor concluye que los niveles de concentración de los gases atmosféricos no superan el ECA para aire, pero la concentración de PM10 excede el ECA para aire establecida mediante D.S. N°003-2017- MINAM.

Arenas (2017), en su tesis para obtener el título de ingeniero ambiental, titulada “Determinación del material particulado pm10 y pm 2.5, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno en el distrito Yura–Arequipa”, tuvo como objetivo determinar la concentración de material particulado PM10 y PM2.5, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno en el distrito de Yura; todo ello aplicando una metodología cuantitativa. Los resultados obtenidos con la medición fueron que la concentración de Material Particulado PM10 y PM2.5, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno no sobrepasan los Estándares de Calidad

Ambiental de Aire establecidos en el D.S. N°074-2001-PCM y el D.S. N°003-2017-MINAM.

Carbajal (2022), en su tesis para obtener el título profesional de ingeniero ambiental y sanitario, denominada “Calidad del aire por la emisión de material particulado en la comunidad de Sacsamarca, Huancavelica - 2022”, evaluó la calidad del aire por la emisión de material particulado PM₁₀ y PM_{2.5} en la comunidad de Sacsamarca. Los resultados de material particulado PM₁₀ y PM_{2.5} superaron los ECA para material suspendido fino; además la calidad de aire global del PM₁₀ fue moderado, mientras que el PM_{2.5} y el AQI global fueron no saludables para los grupos sensibles. El autor concluye que la calidad del aire que se respira por la emisión de PM₁₀ y PM_{2.5} posee una escala moderada, por cuanto el aire es tolerable, aunque para una cantidad de personas sensibles podría llegar a ser dañino.

Canales (2019), en su tesis de maestría en ciencias con mención en gerencia, auditoría y gestión ambiental, titulada “Monitoreo y evaluación de los gases monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrógeno sulfurado (H₂S) presentes en el distrito de Alto Selva Alegre – Arequipa”, se propusieron evaluar los niveles de concentración de CO, CO₂ y H₂S en el aire, en diferentes zonas del distrito de Alto Selva Alegre. Los resultados mostraron que existe mayor concentración de CO en el cruce puente Chilina-Cayma, que en la Av. Brasil hay mayor concentración de CO₂, y que en el cruce de puente Chilina-Cayma hay mayor concentración de H₂S. Se concluye que la concentración de CO, CO₂ y H₂S presentan variaciones entre zonas y horarios de muestreo, y que el plan de forestación con Tara disminuiría la concentración de CO, CO₂ y H₂S en las zonas detalladas.

Fernández y Potenciano (2021), en su tesis para obtener el título profesional de ingeniero ambiental, titulada “Evaluación de la contaminación en el aire por material particulado PM₁₀ en el mercado de la ciudad de Chiclayo”, se planteó como objetivo determinar la contaminación en el aire por material particulado PM₁₀ en la zona urbana de la ciudad de Chiclayo. El tipo de investigación enfocado en este trabajo es de tipo correlacional, con un diseño descriptivo; para la recolección de datos se utilizó la técnica de la observación directa. Como resultado se obtuvo que el muestreo no supera el ECA aire, pues el valor obtenido alcanzó 68.0865 µg/m³ en 24 horas y, según la norma peruana, no debería exceder los 100 µg/m³ en 24 horas, cumpliéndose así con lo estipulado en la normativa peruana.

Pando (2019), en su tesis para obtener el título profesional de ingeniero ambiental, denominada “Determinación del sulfuro de hidrógeno y variables meteorológicas en el AA.HH. el Milagro del distrito de Independencia”, determinó la concentración de sulfuro de hidrógeno (H₂S) emitido por el Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente del CITRAR UNI. Como resultado se obtuvo que las concentraciones de H₂S se diluyen en la atmósfera y se sitúan por debajo del límite de detección del ensayo de laboratorio y dentro del ECA nacional para aire. El autor concluye que la calidad del aire en las estaciones de muestreo, respecto a la concentración de H₂S, se encuentra en un valor por debajo del límite de detección, motivo por el cual se encontraron dentro del ECA para aire establecido por la normativa peruana.

Reátegui (2018), en su tesis de doctorado denominada “Estimación de la concentración de material particulado PM₁₀ y PM_{2.5} en el área metropolitana de Lima utilizando un modelo euleriano”, tuvo como objetivo determinar la concentración de PM₁₀ y PM_{2.5} en el área metropolitana de Lima usando el modelo euleriano. Los resultados mostraron que las concentraciones medias horarias de PM₁₀ del modelo subestimaron a las concentraciones medias observadas variando en cada estación; además, el comportamiento diario de la concentración de PM₁₀ y PM_{2.5} muestra descenso. Se concluye que las concentraciones de valores medios observados en las estaciones tienen un comportamiento relacionado con las características del tráfico vehicular y que la mayor parte de la contaminación tiene como causa al material particulado PM₁₀.

Torres (2011), en su tesis de doctorado titulada “La contaminación atmosférica por emisiones de la industria pesquera y su relación con las enfermedades respiratorias en niños menores de 5 años, entre el 2005 al 2009, Chimbote”, tuvo como objetivo evaluar la contaminación atmosférica por emisiones de la industria pesquera de Chimbote. La investigación fue de tipo descriptiva, las áreas de estudio fueron Florida Baja y Trapecio. Como parte de los resultados se obtuvo que, en el año 2008, los niveles de óxido de azufre que se alcanzó en la zona del 27 de octubre y Florida Baja sobrepasaron los estándares de calidad ambiental del aire. Se concluyó que existe relación entre la temperatura y humedad de la zona con la producción de harina en Florida Baja y 27 de octubre.

Desamparados (2012), en su tesis denominada “Contaminantes atmosféricos particulados: Evaluación de las fuentes de origen y de su contribución a la contaminación atmosférica en el clúster cerámico de Castellón”, determinó que los factores ambientales como la temperatura y el viento afectan a la dispersión de los contaminantes atmosféricos

particulados PM2.5 y PM10, pues durante los meses más fríos, al existir un estancamiento de las masas de aire, existe una disminución de los niveles de concentración de partículas en el aire, y cuando se interrelacionan con el viento se observa que hay un alejamiento de las fuentes de emisión.

2.2. MACO REFERENCIAL

2.2.1. La industria pesquera

La pesca es una actividad extractiva milenaria, realizada por el ser humano desde la prehistoria hasta la actualidad. La pesca puede ser definida como la acción de capturar peces u otros animales acuáticos como crustáceos, moluscos, equinodermos, entre otros, en cualquier masa de agua y con fines comerciales, de subsistencia, deportivos, etc. (Pico, 2022). La pesca, en su calidad de actividad extractiva, ha servido de base para la construcción de una actividad industrial encargada del procesamiento de distintos productos a partir de la captura de peces y demás animales acuáticos. Nos referimos, desde luego, a la industria pesquera como actividad económica transformativa.

En términos generales, la industria pesquera es “aquella industria dedicada a la recolección, procesamiento, comercialización y distribución de peces, mariscos, moluscos y otros organismos acuáticos de valor comercial” (Bravo, Osorio y Cruz, 2021). En primer lugar, ha de precisarse que la industria pesquera incluye tanto la extracción de los peces de las masas de agua como, de ser el caso, su transformación en productos (ej. harina o aceite de pescado) e incluso su comercialización; no obstante, a efectos de la presente investigación, enfocaremos a la industria pesquera en su vertiente transformativa, pues este ámbito es el escenario de las fábricas pesqueras.

También debe aclararse, en segundo lugar, que la industria pesquera puede orientarse tanto a productos de consumo humano como a productos con otros fines industriales, según el mercado. En ese contexto, las principales actividades industriales transformadoras relacionadas a la pesca son la obtención de harina de pescado, aceite de pescado y conservas de pescado, constituyendo la mayor parte de la industria pesquera nacional y, por supuesto, del distrito de Chimbote. Todo ello sin perjuicio de que, contemporáneamente, la industria pesquera ha incursionado en la producción de colágeno, proteínas y combustibles a partir de la materia prima extraída.

Ahora bien, la industria pesquera es una de las fuentes principales de contaminación ambiental, toda vez que el procesamiento de la materia prima deviene en la generación de residuos sólidos vertidos en el suelo y en las masas de agua, así como la emanación de contaminantes hacia la atmósfera. Para entrar en contexto, a modo de ejemplo, Contreras (2011) señala que en la producción de harina de pescado “se utilizan procesos de secado, los vapores de agua con alta concentración de gases de olor intenso son vertidos al aire, causando contaminación olorosa en las zonas urbanas cercanas, como la contaminación aérea por parte de trimetilamina y vapores” (p. 311). En ese sentido, nótese que proliferación de la industria pesquera ha sido determinante en el aumento de los índices de contaminación atmosférica a nivel mundial.

2.2.2. La contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica o contaminación del aire es una de las formas principales de contaminación ambiental, focaliza en el componente del ambiente denominado atmósfera. En ese sentido, la comprensión de la esencia de la contaminación atmosférica precisa del entendimiento previo de la definición de atmósfera y sus componentes. La atmósfera es definida como “una envoltura gaseosa que rodea a la Tierra, compuesta por una combinación de gases, que incluye nitrógeno (78.1%), oxígeno (20.9%), argón (0.93%), dióxido de carbono (0.034%) y otros gases, como helio y ozono” (Anglés, Rovalo y Tejado, 2021, p. 149).

La atmósfera inicia en la superficie de la Tierra y culmina en el espacio exterior, encontrándose dividida en capas diferenciadas en orden ascendente por su altitud: i) tropósfera, ii) estratósfera, iii) mesósfera, iv) termósfera, y v) exósfera. De acuerdo con Figueruelo (2004), la masa total de la atmósfera de nuestro planeta es de 5×10^{15} toneladas aproximadamente, cantidad que equiparable a una millonésima parte de la masa total de la Tierra. Asimismo, el autor precitado argumenta que el 99% de la masa atmosférica se concentra en los primeros 30 km de la atmósfera, lo cual permite que su composición sea estable y que, gracias a los ciclos de formación y descomposición, las concentraciones de gases sean relativamente constantes en la atmósfera baja.

Habiendo desarrollado el tópico previo, corresponde centrarnos en la contaminación atmosférica. La contaminación del aire o contaminación atmosférica supone la presencia en la atmósfera de elementos contaminantes (contaminantes atmosféricos) que alteran su composición y afectan a cualquier componente del ecosistema (Ubilla & Yohannessen, 2017). Por su parte, Martínez y Díaz (2004) contemplan a la contaminación atmosférica

como la “presencia en la atmósfera de sustancias en una cantidad que implique molestias para la salud de las personas y los demás seres vivos; puedan atacar a distintos materiales, reducir la visibilidad o producir olores desagradables” (p. 13). La contaminación atmosférica es un detonante para diversas patologías en el ser humano y, a su vez, para la generación de daño ambiental.

La contaminación del aire, debido a la emisión de sustancias peligrosas en el aire, transforma los procesos naturales de la atmósfera en una proporción que excede sus capacidades, lo cual ocasiona daños para la salud humana (sobre todo a nivel cardiorrespiratorio), en especial para la población más susceptible (Yassi, Kjellstrom, Dekok y Guidotti, 2002). A propósito, Encinas (2011) desarrolla de forma inteligible el proceso de contaminación atmosférica:

En primer lugar, tiene lugar la emisión del contaminante al aire con una velocidad o nivel de emisión, que es la masa de contaminante que emite una fuente por unidad de tiempo. Seguidamente, los contaminantes sufren los procesos de dispersión, transporte y transformación en el aire, de donde resulta el nivel de inmisión del contaminante en el aire en un punto lejano a la fuente por m^3 de aire. Finalmente, los contaminantes se depositan en las superficies receptoras dando lugar a los efectos. (p. 13)

Por otro lado, los contaminantes atmosféricos pueden clasificarse, según su origen, en contaminantes antropogénicos o naturales. Los contaminantes antropogénicos son aquellos que se originan a causa de las actividades humanas, entre las cuales resalta la industria y todas sus vertientes; en cambio, los contaminantes naturales son el resultado de algún proceso natural, tales como la erosión o las erupciones volcánicas. En cuanto a su forma física, los principales contaminantes de la atmósfera se encuentran en estado gaseoso, verbigracia, el dióxido de azufre (SO_2), el sulfuro de hidrógeno (H_2S) y el monóxido de carbono (CO , entre otros; empero, pueden encontrarse también en partículas que mezclan componentes sólidos y líquidos, conocidas como material particulado (Ubilla & Yohannessen, 2017).

2.2.3. Índice de Calidad del Aire (INCA)

El Índice de Calidad del Aire (INCA), constituye un indicador cualitativo y cuantitativo a la vez que califica el estado de la calidad del aire en una zona determinada del territorio peruano. El INCA se sustenta en los valores establecidos por los estándares nacionales de

calidad ambiental del aire y los límites máximos permisibles para contaminantes atmosféricos (Resolución Ministerial N°112-2015-MINAM, 14 de mayo del 2015), lo cual guarda relación con su propósito principal. La data sobre la calidad del aire en el territorio nacional se presenta de forma entendible para la población mediante niveles de cuidado para la salud, clasificados por colores conforme a la siguiente tabla:

Tabla 1.

Perú: Clasificación y valores del Índice de Calidad del Aire

CLASIFICACIÓN	VALORES DEL INCA	COLORES
Buena	0 - 50	Verde
Moderada	51 - 100	Amarillo
Mala	101 - valor umbral de contaminante	Anaranjado
Umbral de cuidado	>Valor umbral de contaminante	Rojo

Fuente: Resolución Ministerial N°112-2015-MINAM

Sin perjuicio de lo anterior, consideramos pertinente que se desarrollen los riesgos y recomendaciones relacionados a cada clasificación específica de la calidad del aire en el Perú, habida cuenta de que cada categoría corresponde a distintos niveles de cuidado y peligro. Por consiguiente, se presenta a continuación una tabla en la que el Ministerio del Ambiente explica los riesgos y recomendaciones según el nivel de cuidado para la salud desprendido del valor del Índice de Calidad del Aire:

Tabla 2.

Perú: Riesgos y recomendaciones según el nivel de calidad del aire

CALIFICACIÓN	RIESGOS	RECOMENDACIONES
Buena	La calidad del aire es satisfactoria y no representa un riesgo para la salud	La calidad del aire es aceptable y cumple con el ECA del Aire. Puede realizar actividades al aire libre.
Moderada	Las personas de los grupos sensibles (niños, tercera edad, embarazadas, personas con enfermedades respiratorias y cardiovasculares crónicas) podrían experimentar algunos síntomas respiratorios	La calidad del aire es aceptable y cumple con el ECA de Aire. Puede realizar actividades al aire libre con ciertas restricciones para los grupos vulnerables.

Mala	Las personas de los grupos sensibles podrían experimentar daños a la salud. La población en general podría sentirse afectada.	Mantenerse atento a los informes de calidad del aire. Evitar realizar ejercicio y actividades al aire libre.
Umbral de cuidado	Toda la población puede verse afectada gravemente en la salud.	Implementar estados de alerta.

Fuente: Resolución Ministerial N°112-2015-MINAM

2.2.4. Principales contaminantes de la atmósfera

Los gases contaminantes de origen antropogénico constituyen los principales contaminantes de la atmósfera, especialmente los que devienen de la actividad industrial (pesquera, siderúrgica, minera, transformativa, etc.) y el transporte en vehículos a motor, en tanto que los contaminantes de origen natural se presentan en menor proporción. Al respecto, Anglés, Rovalo y Tejado (2021) mencionan que los principales contaminantes de la atmósfera a nivel mundial son el dióxido de azufre (SO₂), el dióxido de carbono (CO₂), el monóxido de carbono (CO), el ozono (O₃), el plomo (Pb), las partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀) y las partículas menores a 2.5 micrómetros (PM_{2.5}).

Los principales contaminantes atmosféricos, denominados también como “contaminantes criterio”, son aquellos contaminantes frecuentes que originan mayor perjuicio al ambiente y a los seres vivos, los cuales cuentan con estándares de calidad ambiental (ECA) establecidos mediante decreto supremo (Ministerio del Ambiente, 2015). En nuestro país, los contaminantes principales de la atmósfera que cuentan con estándares de calidad ambiental son el dióxido de nitrógeno (NO₂), el ozono (O₃), el monóxido de carbono (CO), el dióxido de azufre (SO₂), el material particulado PM₁₀, el material particulado PM_{2.5}, el plomo (Pb), el benceno (C₆H₆), los hidrocarburos totales (HT) y el hidrógeno sulfurado (H₂S). No obstante, a efectos de la presente investigación nos centraremos solamente en el material particulado PM₁₀ y PM_{2.5}, el sulfuro de hidrógeno (H₂S) y el dióxido de azufre (SO₂).

a. Material particulado (PM 10 y PM 2.5)

Las partículas en suspensión o simplemente material particulado, abreviado como MP o PM por sus siglas en inglés, constituyen “un conjunto de partículas sólidas y líquidas emitidas directamente al aire, tales como el hollín de diésel, polvo de vías, el polvo de la

agricultura y las partículas resultantes de procesos productivos” (Arciénagas, 2012, p. 196). A su vez, nuestro Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2015) precisa que se trata de “fragmentos sólidos o gotas de líquido de tamaño pequeño que pueden tener composición química diversa. La concentración de partículas en aire se expresa en mg o μg (miligramo o microgramo) de partículas por m^3 de aire” (p. 12).

Las actividades humanas que producen material particulado y lo liberan hacia la atmósfera son, con mayor frecuencia, la quema de combustibles como carbón, gas, petróleo, madera de motores, hornos, estufas, calderos e incineradores; no obstante, son producidos también en las actividades de construcción, fundiciones, elaboración de harina y aceite de pescado, elaboración de cemento y cal (Resolución Ministerial N°112-2015-MINAM, 14 de mayo del 2015). La propiedad más relevante del material particulado es el diámetro mayor de las partículas que lo componen, ya que estas ostentan tamaños, formas y composición diferentes; así pues, se hace la diferencia entre material particulado PM10 y PM2.5.

De acuerdo al OEFA (2015), los PM10 son “las partículas de diámetros inferiores a 10 μm (micrómetros o micras)” (p. 12). El material particulado menor a 10 micrómetros (PM10) pertenece a un porcentaje medio del total de emisiones de material particulado y posee un tamaño de aproximadamente 1/7 del ancho promedio de un cabello humano. En contraste, el material particulado PM2.5 está constituido por partículas de menos de 2.5 micrómetros de diámetro, las cuales son denominadas “partículas finas”. Estas partículas, teniendo en cuenta su pequeño tamaño (alrededor de 1/30 del ancho promedio de un cabello humano), representan un gran riesgo para la salud humana, en razón de que pueden instalarse fácilmente en las zonas profundas de los pulmones (Organización Panamericana de la Salud, 2018).

En nuestro Estado, el Ministerio del Ambiente se ha encargado de ligar ciertos parámetros objetivos de concentración de PM10 y PM2.5 (medida en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) con los intervalos del índice de calidad del aire establecidos mediante Resolución Ministerial N°112-2015-MINAM, de fecha 14 de mayo del 2015. En consecuencia, hoy en día puede relacionarse el nivel de concentración de PM10 y PM2.5 con una calificación buena, moderada, mala o de umbral de cuidado respecto a la calidad del aire, conforme se desarrolla en la siguiente tabla:

Tabla 3.*Perú: Índice de Calidad de Aire para PM10 y PM2.5*

CALIFICACIÓN	INTERVALO DEL INCA	CONCENTRACIÓN DE PM10 (ug/m ³)	CONCENTRACIÓN DE PM2.5 (ug/m ³)
Buena	0 - 50	0 - 75	0 – 12.5
Moderada	51 - 100	76 - 150	12.6 - 25
Mala	101 - 167	151 - 250	25.1 - 125
Umbral de cuidado	> 167	> 250	> 125

Fuente: Resolución Ministerial N°112-2015-MINAM

b. Sulfuro de hidrógeno (H₂S)

El sulfuro de hidrógeno (H₂S), también conocido como ácido sulfhídrico, es un compuesto químico conformado por dos átomos de hidrógeno (H) y uno de azufre (S), encontrándose en estado gaseoso. Por sus componentes, el sulfuro de hidrógeno es un gas incoloro contaminante de la atmósfera caracterizado por desprender un olor desagradable olor a “huevo podrido”, encontrándose de forma natural en los gases de los volcanes, el gas natural, la descomposición de la materia orgánica, las sales de roca, entre otros; en tanto que su producción por la actividad humana es frecuente en la actividad industrial, y no necesita de una gran concentración en el aire ambiente para ser percibido por el olfato humano, bastante una concentración de 0.0005 y 0.3 partes por millón (Gotor, 2020).

El sulfuro de hidrógeno es un gas inflamable, más denso que el aire (motivo por el cual puede acumularse en lugares cerrados) y extremadamente peligroso con olor desagradable el cual puede hallarse de forma natural en el petróleo crudo, el gas natural, los pantanos, la descomposición de materia orgánica y desechos orgánicos, en virtud a que es una molécula primigenia que se origina durante el metabolismo anaeróbico de las bacterias; aunque también es producido en grandes cantidades por la actividad industrial del ser humano (Pando, 2019). Los principales efectos perjudiciales para la salud humana que origina el ácido sulfhídrico se evidencian en los sistemas respiratorio y cardiovascular.

En el Perú, el Ministerio del Ambiente ha establecido normativamente ciertos parámetros cuantitativos mediante los cuales se puede determinar si la concentración de sulfuro de hidrógeno (medida en ug/m³) se encuentra dentro de los estándares de calidad del aire y,

consecuentemente, si tal concentración puede calificarse en el índice de calidad del aire (INCA) como buena, moderada, mala o en el umbral de cuidado. Al respecto, obsérvese la siguiente tabla:

Tabla 4.

Perú: Índice de Calidad de Aire para sulfuro de hidrógeno (H_2S)

CALIFICACIÓN	INTERVALO DEL INCA	CONCENTRACIÓN DE H_2S ($\mu g/m^3$)
Buena	0 - 50	0 – 75
Moderada	51 - 100	76 - 150
Mala	101 - 167	151 - 1500
Umbral de cuidado	> 167	> 1500

Fuente: Resolución Ministerial N°112-2015-MINAM

c. Dióxido de azufre (SO_2)

El dióxido de azufre (SO_2) constituye un óxido conformado por dos átomos de oxígeno (O) y uno de azufre (S), hallándose en estado gaseoso. Según Torres (2022), el dióxido de azufre es un gas incoloro y contaminante atmosférico con un fuerte olor, pudiendo ser nocivo para la salud humana; además, las principales fuentes de dióxido de azufre provienen de la combustión de combustibles fósiles y demás procesos industriales, así como la actividad volcánica natural.

En el artículo 2° de la Resolución Ministerial N°112-2015-MINAM, de fecha 14 de mayo del 2015, se define al dióxido de azufre como un gas incoloro con olor asfixiante, irritante a los ojos y principal causante de la lluvia ácida, dado que en la atmósfera se transforma en ácido sulfúrico. El dióxido de azufre se origina por la quema de combustibles fósiles como petróleo, carbón, diésel (con azufre), en servicios como el transporte en vehículos a motor, en fundiciones de metales, etc. En cuanto a sus propiedades fisicoquímicas, debe conocerse que:

El dióxido de azufre es un gas incoloro, más pesado que el aire, de olor picante, muy irritante y perceptible desde 1,1 ppm, muy soluble en agua (11,3 g / 100 g de agua a 20°C) y soluble en un gran número de compuestos, como alcoholes, ácido acético, ácido sulfúrico, éter etílico, acetona, tolueno, etc. A temperatura ambiente y en ausencia de humedad, el dióxido de azufre es un gas relativamente estable y poco reactivo. Su disociación en azufre y trióxido de azufre empieza a

temperaturas superiores a 2.000°C. (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España, 2014, p. 1)

A continuación, se presenta una tabla elaborada por el Ministerio del Ambiente, a partir de la cual se puede identificar si la concentración de dióxido de azufre (medida en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) se acopla al índice de calidad del aire (INCA) y puede calificarse como buena, moderada, mala o en el umbral de cuidado, según los niveles establecidos:

Tabla 5.

Perú: Índice de Calidad de Aire para dióxido de azufre (SO_2)

CALIFICACIÓN	INTERVALO DEL INCA	CONCENTRACIÓN DE SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Buena	0 - 50	0 – 20
Moderada	51 - 100	21 - 80
Mala	101 - 167	81 - 500
Umbral de cuidado	> 167	> 500

Fuente: Resolución Ministerial N°112-2015-MINAM

2.2.5. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP)

Nuestro Estado ha implementado normativamente diversos instrumentos de gestión ambiental, entre los cuales destacan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y los Límites Máximos Permisibles (LMP). El Estándar de Calidad Ambiental (ECA) es la “medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire como cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente” (Decreto Supremo N°011-2009-MINAM, 16 mayo de 2009, artículo 2° numeral 5).

Así mismo, el MINAM (2012) define a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) como aquellos instrumentos de gestión ambiental que “consideran los niveles de concentración máxima de contaminantes del aire que, en su condición de cuerpo receptor, es recomendable no exceder para evitar riesgo a la salud humana” (p. 71). Similarmente, la Ley General del Ambiente define a los ECA como:

La medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo

para la salud de las personas ni al ambiente. (...) La concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos. El ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas. (artículo 31°)

Por otro lado, los Límites Máximos Permisibles (LMP), son definidos por el MINAM (2012) como aquellos instrumentos de gestión ambiental que “regulan la concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, bienestar humano y ambiente” (pp. 84-85). La Ley N°27611 – Ley General del Ambiente (LGA), regula a los LMP como “la medida de concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, bienestar humano y ambiente” (artículo 32°). Además, según establece el Decreto Supremo N°011-2009-MINAM, de fecha 16 mayo de 2009, el LMP es:

La medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el MINAM y los organismos que conforman el Sistema de Gestión Ambiental. (artículo 2° numeral 10)

2.2.6. Base legal

a. Constitución Política del Perú

La Constitución Política de 1993 regula al medio ambiente como un derecho fundamental de tercera generación, estableciendo en su artículo 2° numeral 22: “Toda persona tiene derecho a la paz, a la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida”. Asimismo, nuestra actual carta magna establece un capítulo entero abocado al medio ambiente y los recursos naturales (Título III Capítulo II), donde, en síntesis, contempla la soberanía del Estado sobre estos y su función de promoción sobre la conservación y el desarrollo sostenible respecto al medio ambiente.

El derecho a un medio ambiente adecuado para el desarrollo de la vida se puede traducir en la obligación del Estado, de los particulares y, en general, de todas las personas de mantener las condiciones naturales del ambiente, a fin de que la vida humana exista en condiciones ambientalmente dignas. Además, comprende la facultad de las personas de

poder disfrutar de un medio ambiente en el que sus elementos se desarrollan e interrelacionan de manera natural y armónica, donde la intervención humana no suponga una alteración relevante (perjudicial) a la interrelación de elementos del medio ambiente (Sentencia del Tribunal Constitucional de Exp. N°0004-2010-PI/TC).

En añadidura, el mencionado derecho fundamental comprende la obligación del Estado; de los particulares, en especial cuya actividad repercute en el ambiente; y, en general, de todas las personas, de preservar el medio ambiente. Esta obligación no implica simplemente no dañar, sino también abstenerse de dañar (prevenir). Esta interpretación concuerda con lo desarrollado por el Tribunal Constitucional en la Sentencia de Exp. N°03343-2007-PA/TC, donde se establece que dicho derecho fundamental está configurado por: 1) el derecho a gozar de un ambiente equilibrado adecuado, y 2) el derecho a la preservación de un ambiente sano y equilibrado.

b. Ley General del Ambiente (Ley N° 28611 del 15 de octubre de 2005)

La Ley N°28611, Ley General del Ambiente (LGA), fue publicada el 15 de octubre del año 2005. El artículo 1° de esta norma refiere que el objetivo que persigue la ley es ordenar el marco normativo legal para la gestión ambiental en el Perú, estableciendo principios y normas básicas que consoliden el ejercicio del derecho a un medio ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el desarrollo de la vida, el cual es un derecho fundamental regulado en nuestra Constitución Política.

El artículo VI del Título Preliminar de la LGA contempla el principio de prevención, según el cual “la gestión ambiental tiene como objetivos prioritarios prevenir, vigilar y evitar la degradación ambiental”. Sin embargo, cuando no sea posible eliminar las causas que generan la degradación ambiental, deberán adoptarse medidas que impliquen la mitigación del daño o la recuperación y restauración del ambiente.

De igual manera, destaca el artículo IX del Título Preliminar de la LGA, en el cual se insta el principio de responsabilidad ambiental, en base al cual “el causante de la degradación del ambiente y de sus componentes, (...) está obligado a adoptar inexcusablemente las medidas para su restauración, rehabilitación o reparación según corresponda”. De no ser posible recuperar el ambiente, el causante deberá compensar los daños producidos, sin que esto evite que sea procesado a nivel penal, civil y/o administrativo, según corresponda.

c. Decreto Supremo N°003-2017-MINAM de fecha 7 de junio de 2017, mediante el cual se aprueba el Reglamento de Estándares de Calidad de Aire

El Decreto Supremo N°003-2017-MINAM, a través del cual se aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire, fue publicado el 07 de junio del año 2017. Lo más relevante de esta norma es su anexo, en él se introduce una tabla que establece los estándares que deben cumplir los principales contaminantes atmosféricos (PM10, PM2.5, H₂S, Pb, O₃, SO₂, C₆H₆, NO₂, CO, Hg) para ser considerados conforme a los ECA para aire. A continuación, se presenta la aludida tabla:

Tabla 6.

Perú: Estándares nacionales de calidad ambiental para aire

PARÁMETROS	PERIODO	VALOR (ug/m ³)	MÉTODO DE ANÁLISIS
Benceno	Anual	2	Media aritmética anual
Dióxido de azufre	24 horas	250	No exceder más de 7 veces al año
Dióxido de nitrógeno	1 hora / anual	200 / 100	No exceder más de 24 veces al año / media aritmética anual
Material particulado PM2.5	24 horas / anual	50 / 25	No exceder más de 7 veces al año / media aritmética anual
Material particulado PM10	24 horas / anual	100 / 50	No exceder más de 7 veces al año / media aritmética anual
Mercurio gaseoso total	24 horas	2	No exceder
Monóxido de carbono	1 hora / 8 horas	30 000 / 10 000	No exceder más de 1 veces al año / media aritmética móvil
Ozono	8 horas	100	No exceder más de 24 veces al año
Plomo	Mensual / anual	1.5 / 0.5	No exceder más de 4 veces al año / media aritmética mensual
Sulfuro de hidrógeno	24 horas	150	Media aritmética

Fuente: Decreto Supremo N°003-2017-MINAM

d) Decreto Supremo N°011-2009-MINAM de fecha 16 de mayo de 2009, mediante el cual se aprueban los Límites Máximos Permisibles para las emisiones de la Industria de Harina y Aceite de Pescado y Harina de Residuos Hidrobiológicos

El Decreto Supremo N°011-2009-MINAM, mediante el cual se dispone la aprobación de los Límites Máximos Permisibles (LMP) “para las emisiones de la fuente puntual del proceso de secado de la Industria de Harina y Aceite de Pescado y Harina de Residuos Hidrobiológicos, de acuerdo a los valores que se indican en el Anexo” (artículo 3°), fue publicado el 16 de mayo del 2009. Los LMP plasmados en el Anexo del D.S. N°011-2009-MINAM se detallan a continuación:

Tabla 7.

Límites Máximos Permisibles para las emisiones de la industria de harina y aceite de pescado y harina de residuos hidrobiológicos

Contaminante	Concentración (mg/m3)
	Plantas existentes, instalaciones nuevas, las que se reubiquen y del traslado físico
Sulfuro de hidrógeno, sulfuros	5
Material particulado (MP)	150

Fuente: Decreto Supremo N°011-2009-MINAM

e) Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire: partículas en suspensión (PM_{2.5} y PM₁₀), ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y monóxido de carbono

Estas directrices, publicada en el año 2021, si bien no constituyen plenamente una norma jurídica, son empleadas de modo referencial por los Estados miembros de la Organización Mundial de la Salud, a efectos de guiar sus políticas públicas sobre estándares de calidad ambiental del aire. Los niveles de contaminantes máximos plasmados en dichas directrices, específicamente para PM_{2.5}, PM₁₀ y SO₂, son los siguientes:

Tabla 8.

Niveles recomendados de las directrices sobre la calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud

CONTAMINANTE	PERIODO	VALOR (ug/m ³)
Dióxido de azufre SO ₂	24 horas	40
Material particulado PM _{2.5}	Anual / 24 horas	5 / 15
Material particulado PM ₁₀	Anual / 24 horas	15 / 45

Fuente: Organización Mundial de la Salud, 2021

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

2.3.1. Ambiente

Es el “conjunto de elementos físicos, químicos y biológicos, de origen natural o antropogénico (producidos por el hombre), que rodean a los seres vivos y determinan sus condiciones de existencia” (Ministerio del Ambiente, 2012, p. 45). El ambiente, más allá de sus componentes, engloba también a los procesos físico, sociales, económicos y biológicos, así como la compleja red que los interrelaciona en distintos niveles espaciotemporales (Pacheco, 2005).

2.3.2. Elemento contaminante

Un elemento contaminante es “cualquier sustancia química que no pertenece a la naturaleza del medio en que se encuentra o cuya concentración exceda los niveles permisibles, y es susceptible de causar efectos nocivos para la salud de las personas o el ambiente” (OEFA, 2015, p. 10).

2.3.3. Contaminante atmosférico

Se entiende por contaminante atmosférico a todo “elemento o compuesto químico, natural o artificial, capaz de permanecer o ser arrastrado por el aire, y que implique riesgo, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza” (Encinas, 2011, p. 15). Los contaminantes atmosféricos pueden presentarse en forma sólida, líquida o gaseosa.

2.3.4. Impacto ambiental

El impacto ambiental es “la alteración favorable o desfavorable que se presenta en alguno o todos los componentes del ambiente, en la salud humana o en el bienestar de la sociedad, esto como consecuencia de la realización de una acción o actividad humana” (Juan, 2017, p. 38). En otros términos, el impacto ambiental es cualquier alteración causada a las propiedades físicas, químicas y biológicas del ambiente, resultante de las actividades humanas.

2.3.5. La contaminación ambiental

La contaminación ambiental es definida como la “introducción o presencia de sustancias, organismos o formas de energía en ambientes a los que no pertenecen o en cantidades superiores a las propias, (...) que interfieren con la salud, dañan los recursos naturales o alteran el equilibrio ecológico” (Flores, López y Albert, 1995, p. 38).

2.3.6. La contaminación del aire

La contaminación del aire o contaminación atmosférica hace referencia a la “presencia de sustancias nocivas en la atmósfera en concentraciones que podrían llegar a provocar daño, ya sea a la salud de la población o a diferentes ecosistemas” (Ubilla y Yohannessen, 2017, p. 112).

2.3.7. Aire contaminado

Cuando se alude al aire contaminado, entiéndase a este como:

El aire que contiene en suspensión partículas de polvo, humo, microorganismos, sales o gases ajenos a su composición ordinaria o los tienen en concentraciones muy elevadas. Se dice que es húmedo, es el aire que contiene una humedad relativa superior al 80%. Se entiende que el aire es saturado, cuando la cantidad máxima de vapor de agua posible (100% de humedad) para una temperatura y una presión dadas. (Tapara, 2015, p. 21)

2.3.8. Calidad del aire

La calidad de aire de un lugar se determina con la medición de los niveles de emisión de contaminantes atmosféricos a través de las redes de vigilancia, las cuales están compuestas por diversas estaciones de muestreo esparcidas por la zona cuya calidad de aire se requiere evaluar (Encinas, 2011). En efecto, la calidad del aire de una región “está fuertemente influenciada por parámetros meteorológicos como la temperatura ambiente,

la magnitud y la dirección del viento, la cobertura nubosa, y la lluvia, nieve, granizo, etc.” (Porta, Sánchez y Colman, 2018, p. 40).

2.3.9. Emisión

Consiste en el “vertido de sustancias contaminantes a la atmósfera, las fuentes de emisión pueden agruparse en cuatro categorías principales: fuentes fijas, fuentes móviles, fuentes de área y fuentes naturales” (OEFA, 2015, p. 11).

2.3.10. Monitoreo ambiental

Se entiende que el monitoreo ambiental engloba “la recolección, el análisis, y la evaluación sistemática y comparable de muestras ambientales en un determinado espacio y tiempo; la misma que se realiza a efectos de medir la presencia y concentración de contaminantes en el ambiente” (MINAM, 2012, p. 87).

2.3.11. Muestreo ambiental

El muestreo ambiental es un procedimiento consistente en “tomar muestras representativas que permitan caracterizar el componente ambiental en estudio, las cuales presentan las mismas características o propiedades del componente que se está evaluando. Las muestras tomadas son enviadas a un laboratorio acreditado” (OEFA, 2015, p. 8).

2.3.12. Estación meteorológica

Una estación meteorológica es definida como:

Un lugar escogido adecuadamente para colocar los diferentes instrumentos que permiten medir las distintas variables que afectan al estado de la atmósfera. Es decir, es un lugar que nos permite la observación de los fenómenos atmosféricos y donde hay aparatos que miden las variables atmosféricas. Muchos de estos están al aire libre, pero otros, aunque también están al aire libre, deben estar protegidos de las radiaciones solares para que estas no les alteren los datos, el aire debe circular por dicho interior. (Román, 2015, p. 2)

2.3.13. Efecto invernadero

El efecto invernadero es “un fenómeno natural que se da en nuestro planeta y dificulta que una parte del calor del sol recibido por la tierra deje la atmósfera y vuelva al espacio, produciendo un efecto similar al observado en un invernadero” (Orizaola, 2017, p. 4). La intensidad del efecto invernadero dependerá de factores como la densidad de la atmosfera

y su composición. Las consecuencias del efecto invernadero se evidencian en la temperatura media del planeta y su oscilación térmica diaria.

III. METODOLOGÍA

3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El método de la investigación fue inductivo-deductivo. Inductivo porque, en principio, se obtuvieron conclusiones generales a partir de premisas individuales; y deductivo porque, posteriormente, se partió desde un razonamiento general y lógico cimentado en leyes o principios, hasta un hecho concreto (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

Asimismo, se utilizó el método no experimental, puesto que el investigador no manipuló de forma deliberada las variables independientes para analizar su impacto sobre las variables dependientes, sino que se observó la interrelación entre variables en su contexto natural para la realización de un análisis puro y sin interferencias (Sullivan, 2009).

3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

De la misma manera, la presente investigación se realizó empleando un diseño correlacional, el cual es un tipo de investigación no experimental donde los investigadores miden dos variables diferentes y luego analizan si existe una relación estadística entre ellas (correlación), sin necesidad de considerar otras variables externas para obtener resultados significativos (Huamani, 2019).

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

Población Muestral: Distrito de Chimbote, ubicado en la provincia del Santa y departamento de Áncash, Población del Gran Trapecio, durante el año 2025.

Muestra: Muestras extraídas de la estación de monitoreo de calidad del aire CA-01 CHIMBOTE, perteneciente al Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), ubicada en la I.E. Inca Garcilaso de la Vega N° 88011 de la Urb. El Trapecio del distrito de Chimbote, la cual se ubica aproximadamente a 200 metros del Asentamiento Humano “15 de abril” y a una distancia similar de las empresas pesqueras de la Zona Industrial Gran Trapecio; todos ellos durante el año 2025.

Tipo de muestreo: Muestreo no probabilístico, por cuanto la elección se realizó a criterio del observador, en razón a la conveniencia científica para la presente investigación.

Muestra Control: La muestra control se obtuvo de manera georreferencial y sobre la misma población muestral, para recabar datos empíricos en condiciones específicas e iguales, pero con estímulo diferente. Para el caso de la calidad del aire se tomó la muestra

control en el Asentamiento Humano “15 de abril”, en época donde no hay producción en las fábricas aledañas.

3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

3.4.1. Definición conceptual

Variable 1: Emisiones de las fábricas pesqueras: Se trata de una suspensión en el aire de pequeñas partículas sólidas que resultan de la combustión incompleta de un material combustible, materia orgánica de secadores rotatorios, gases de calderas, planta de agua de cola, enfriadores de harina y molinos secos, entre otros.

Variable 2: Calidad del aire: Es un indicador de la medida en que el aire está exento de polución atmosférica y, por consiguiente, es apto para ser respirado.

3.4.2. Definición operacional

La variable 1 (emisiones de las fábricas pesqueras) se elaboró a través de dos dimensiones, siendo la primera la dimensión física, en la cual se buscará analizar los datos de humedad y temperatura obtenidos a través de la página del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, analizando los grados de temperatura y el porcentaje de humedad. Del mismo modo, la segunda dimensión es la química, en la cual se evaluará y controlará los elementos químicos SO₂, H₂S y material particulado PM₁₀ y PM_{2.5}.

La variable 2 (calidad del aire) está delimitada por dos dimensiones, siendo la primera la dimensión física, donde se monitoreará y evaluará la deposición de distintos componentes del ambiente, tales como temperatura, humedad y, además, el material particulado (MP₁₀ y MP_{2.5}); para concluir con la dimensión química, en la que se analizará y se realizará una comparación de los elementos contaminantes SO₂, CO, H₂S y N₂.

3.4.3. Matriz de operacionalización

Tabla 9.

Matriz de operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSION	INDICADORES	VALOR FINAL	TIPO DE VARIABLE
V1: Emisiones de las fábricas pesqueras	Física	Temperatura Humedad relativa del ambiente	°C %	Numérica
	Química	SO ₂ , H ₂ S, PM ₁₀ , PM _{2.5}	ml/cm ³ o mg/cm ³	Numérica
	Física	Material particulado PM ₁₀	mg/m ³	Numérica

V2: Calidad del aire		Material particulado PM _{2.5} Temperatura Humedad	mg/m ³ °C %	Numérica Numérica
	Química	SO ₂ , CO, H ₂ S, N ₂	gr/cm ³	Numérica

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1. Técnicas

Se aplicó la técnica de observación.

3.5.2. Instrumentos

Mecánicos:

- Para la calidad del aire: Thermo / Tisch para PM10, BGI (modelo PQ 200) para PM2.5, de 220 watts.
- Para las emisiones: Cleaver Box (EPA 5, EP 16), Enviromental ES (alta gama), TESTO (analizador de gases CO₂, NO₂, SO₂, etc.) modelo 350 miu, 200 watts.
- Otros: GPS, termómetro, cronómetro, espectrofotómetro, balanzas, etc.

Documentales:

- Registro de control de emisiones, registro de control de calidad del aire.

3.6. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para el análisis de las emisiones de las fábricas aledañas al AA. HH. “15 de abril” - Chimbote hacia la atmósfera, se realizaron mediciones de humos de las fábricas pesqueras de la Zona Industrial Gran Trapecio por tres días continuos, mediante análisis privados elaborados por laboratorios acreditados, del 16 al 18 de mayo de 2025 (perteneciente al primer trimestre 2025). Precítese que las mediciones se realizaron en pleno proceso de funcionamiento de las empresas pesqueras en el distrito de Chimbote.

Para el análisis de la calidad del aire en el AA. HH. “15 de abril”, se realizaron mediciones de aire en la estación de monitoreo de calidad del aire CA-01 CHIMBOTE (perteneciente al OEFA) ubicada en la I.E. Inca Garcilaso de la Vega N° 88011 de la Urb. El Trapecio del distrito de Chimbote, aproximadamente a 200 metros del Asentamiento Humano “15 de abril”, recopilándose información diaria a lo largo del año 2025. El intervalo de medición en cada punto de monitoreo fue en el horario de mayor funcionamiento u hora

punta, específicamente entre las 10:00 y las 12:00 horas y entre las 22:00 y 00:00, realizándose un promedio de tres mediciones de quince minutos por día.

Posteriormente, la información fue vaciada en una computadora bajo el programa Microsoft Excel 2024, como data para los análisis estadísticos y comparativos respectivos a través de la prueba t-Student. Ha de precisarse que los LMP y ECA fueron referenciados a partir de las normas oficiales del Ministerio del Ambiente.

3.7. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Se analizó la relación entre variables mediante las técnicas estadísticas siguientes:

- Modelos descriptivos
- Distribución de frecuencia (barras) y rangos
- Modelos de tendencia central: media
- Modelos de dispersión: desviación estándar
- Modelos Inferenciales Paramétricos
- Prueba de Normalidad Kolmogórov-Smirnov o K-S, para determinar si los datos de la población tienen o no la distribución teórica especificada.
- Prueba “t” de Student, para la diferencia de medias entre las muestras relacionadas y determinar sus diferencias.
- ANOVA (I)

Para ello, se hizo uso del programa estadístico SPSS v.21.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

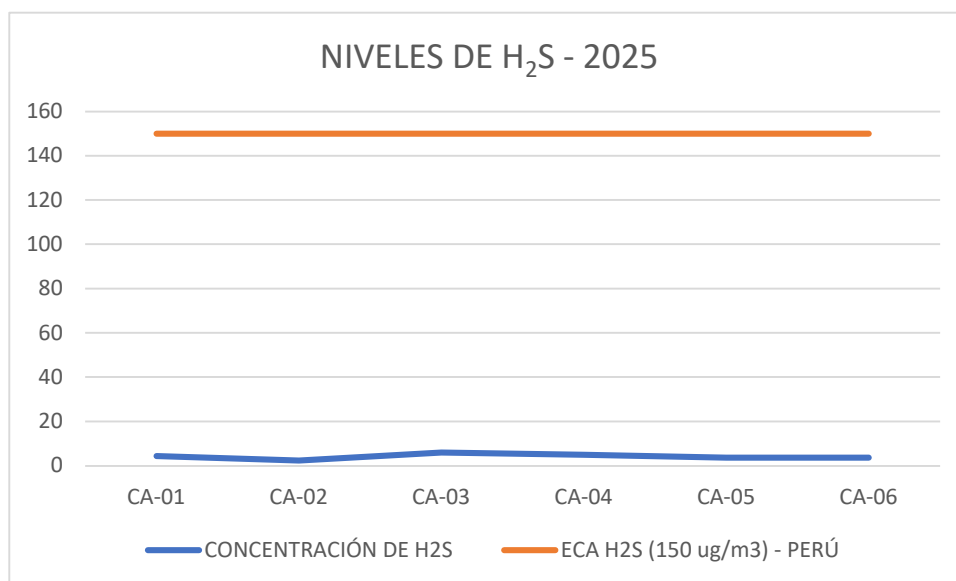
4.1. RESULTADOS

4.1.1. Análisis de la concentración de los contaminantes SO₂, H₂S, PM₁₀ y PM_{2.5} en fábricas pesqueras

El primer objetivo específico consistió en analizar la concentración de los contaminantes SO₂, H₂S, PM₁₀ y PM_{2.5} en las emisiones de las fábricas pesqueras aledañas al Asentamiento Humano “15 de abril” del distrito de Chimbote en el año 2025; lo cual se logró a partir de las mediciones de humos de las fábricas pesqueras de la Zona Industrial Gran Trapecio por tres días continuos, mediante análisis privados elaborados por laboratorios acreditados, del 16 al 18 de mayo de 2025, obteniéndose los siguientes resultados:

Figura 2.

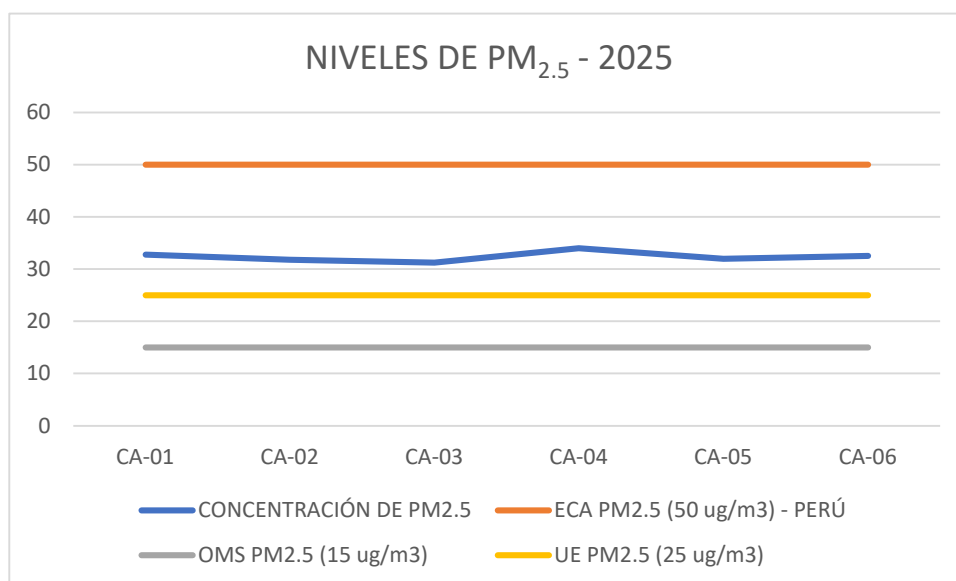
Niveles de H₂S en las fábricas pesqueras de la Zona Industrial Gran Trapecio, 2025



Respecto a la concentración de sulfuro de hidrógeno (H₂S) entre el 16 y el 18 de mayo de 2025 en los seis puntos de muestreo ubicados en las fábricas pesqueras de la Zona Industrial Gran Trapecio, se observó que esta no superó ni se acercó al límite máximo establecido por el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM (150 ug/m³), toda vez que el valor máximo registrado fue de 6 ug/m³.

Figura 3.

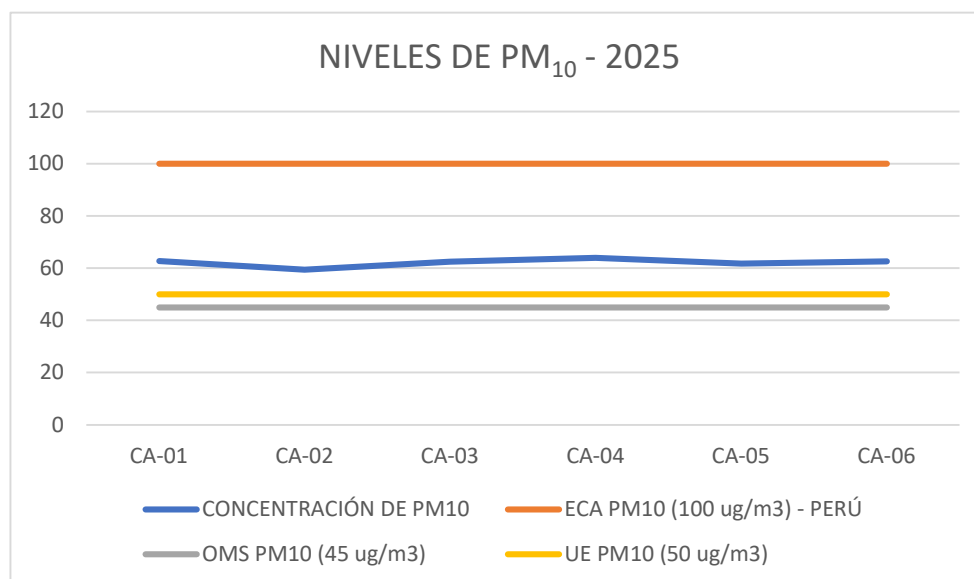
Niveles de $PM_{2.5}$ en las fábricas pesqueras de la Zona Industrial Gran Trapecio, 2025



En cuanto a la concentración de material particulado 2.5 ($PM_{2.5}$) entre el 16 y el 18 de mayo de 2025 en los seis puntos de muestreo ubicados en las fábricas pesqueras de la Zona Industrial Gran Trapecio, se observó que, si bien no superó el límite máximo establecido por el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM (50 ug/m^3), sí sobrepasó los límites establecidos en instrumentos internacionales elaborados y publicados por la Organización Mundial de la Salud (15 ug/m^3) y la Unión Europea (25 ug/m^3), siendo el valor máximo registrado de 34 ug/m^3 .

Figura 4.

Niveles de PM_{10} en las fábricas pesqueras de la Zona Industrial Gran Trapecio, 2025



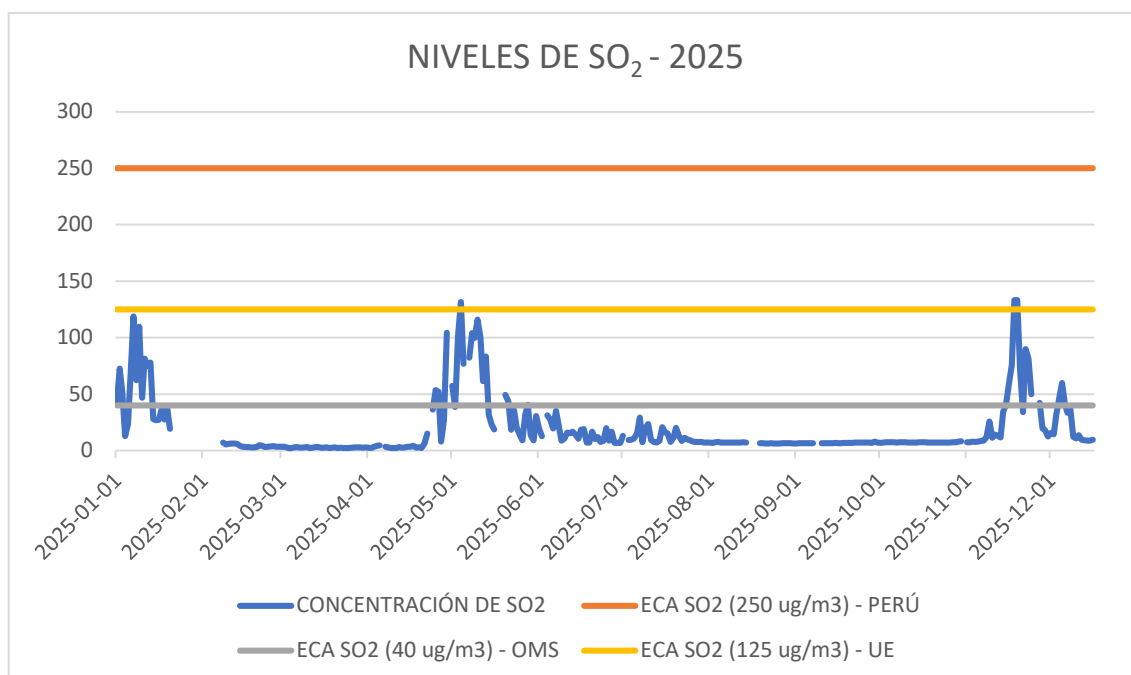
En lo concerniente a la concentración de material particulado 10 (PM_{10}) entre el 16 y el 18 de mayo de 2025 en los seis puntos de muestreo ubicados en las fábricas pesqueras de la Zona Industrial Gran Trapecio, se observó que, si bien no superó el límite máximo establecido por el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM (100 $\mu g/m^3$), sí sobrepasó los límites establecidos en instrumentos internacionales elaborados y publicados por la Organización Mundial de la Salud (45 $\mu g/m^3$) y la Unión Europea (50 $\mu g/m^3$), siendo el valor máximo registrado de 64.02 $\mu g/m^3$.

4.1.2. Análisis de la calidad del aire en el Asentamiento Humano “15 de abril”

El segundo objetivo específico fue analizar la calidad del aire en el Asentamiento Humano “15 de abril” del distrito de Chimbote en el año 2025; lo cual se logró a partir de mediciones de calidad del aire en la estación de monitoreo CA-01 CHIMBOTE (perteneciente al OEFA) ubicada en la I.E. Inca Garcilaso de la Vega N° 88011 de la Urb. El Trapecio del distrito de Chimbote, aproximadamente a 200 metros del Asentamiento Humano “15 de abril”, recopilándose información diaria a lo largo de todo el año 2025 y enero del 2026, obteniéndose los siguientes resultados:

Figura 5.

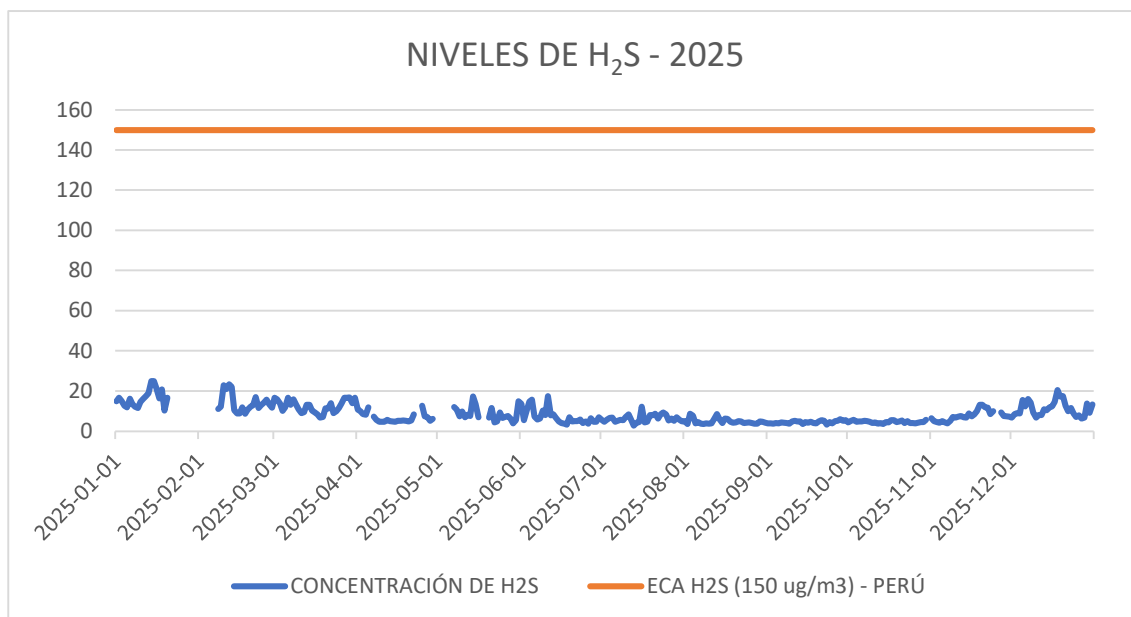
Niveles de SO₂ en el Asentamiento Humano “15 de abril”, 2025



Respecto a la concentración de dióxido de azufre (SO₂) entre enero y diciembre de 2025 en la estación de monitoreo CA-01 CHIMBOTE del OEFA, aledaña al Asentamiento Humano “15 de abril”, se observó que esta no superó el límite máximo establecido por el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM (250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), pero sí sobrepasó en múltiples oportunidades el límite señalado por la Organización Mundial de la Salud (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y, solo en mayo y noviembre de 2025, el límite referencial establecido por la Unión Europea (125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Asimismo, el valor máximo registrado fue de 133.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el 19 de noviembre de 2025.

Figura 6.

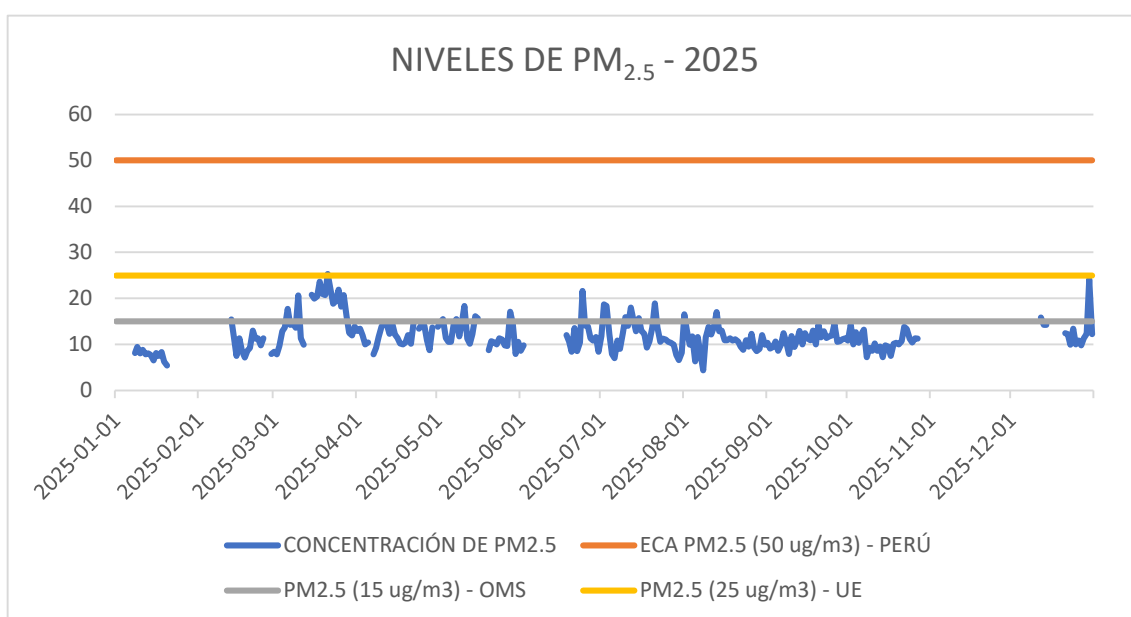
Niveles de H₂S en el Asentamiento Humano “15 de abril”, 2025



En cuanto a la concentración de sulfuro de hidrógeno (H₂S) entre enero y diciembre de 2025 en la estación de monitoreo CA-01 CHIMBOTE del OEFA, aledaña al Asentamiento Humano “15 de abril”, se observó que esta no superó ni se acercó al límite máximo establecido por el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM (150 ug/m³), dado que el valor máximo registrado fue de 25 ug/m³ tanto el 14 y el 15 de enero de 2025.

Figura 7.

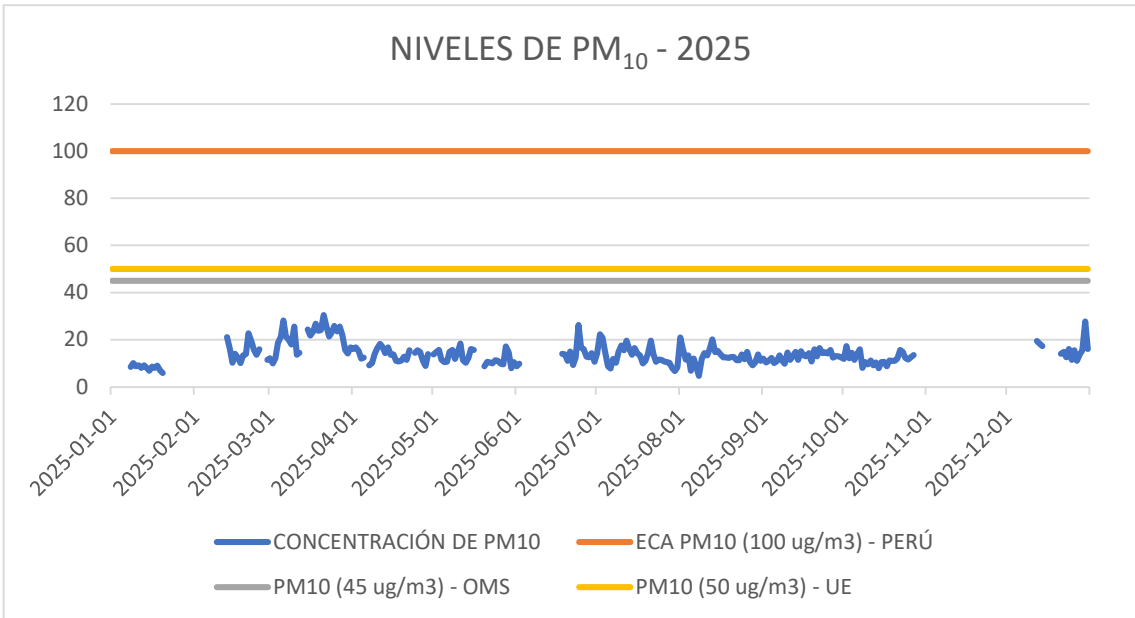
Niveles de PM_{2.5} en el Asentamiento Humano “15 de abril”, 2025



En lo que respecta a la concentración de material particulado 2.5 ($PM_{2.5}$) entre enero y diciembre de 2025 en la estación de monitoreo CA-01 CHIMBOTE del OEFA, aledaña al Asentamiento Humano “15 de abril”, se observó que esta no superó ni se acercó al límite máximo establecido por el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM ($50 \mu g/m^3$), no obstante, sobrepasó en múltiples oportunidades el límite señalado por la Organización Mundial de la Salud ($15 \mu g/m^3$) y en una sola oportunidad el límite establecido por la Unión Europea ($25 \mu g/m^3$), medición que justamente coincide con el valor máximo registrado en todo el año, el cual fue de $25.3 \mu g/m^3$ el 21 de marzo de 2025.

Figura 8.

Niveles de PM_{10} en el Asentamiento Humano “15 de abril”, 2025



Finalmente, en lo que concierne a la concentración de material particulado 10 (PM_{10}) entre enero y diciembre de 2025 en la estación de monitoreo CA-01 CHIMBOTE del OEFA, aledaña al Asentamiento Humano “15 de abril”, se observó que esta no superó ni se acercó al límite máximo establecido por el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM ($100 \mu g/m^3$), ni sobrepasó los límites señalados por la Organización Mundial de la Salud ($45 \mu g/m^3$) y la Unión Europea ($50 \mu g/m^3$). El valor máximo registrado fue de $30.5 \mu g/m^3$ el 21 de marzo de 2025.

4.1.3. Evaluación estadística del impacto de las emisiones de la fábrica pesquera

El tercer objetivo específico buscó evaluar estadísticamente, a través de la prueba t-Student, el impacto de las emisiones de las fábricas pesqueras en la calidad del aire del Asentamiento Humano “15 de abril” del distrito de Chimbote en el año 2025. Se obtuvieron los siguientes resultados:

A. Concentración promedio de SO₂, ECA SO₂ (ug/m³) – OMS

Variable

X: concentración diaria de SO₂ (μg/m³), abril–mayo 2025.

Prueba de normalidad:

H₀: los datos de la concentración promedio medidas son normales (p-value>=0.05).

H₁: los datos de la concentración promedio medidas no son normales (p-value<0.05).

Tabla 10.

Pruebas de normalidad para concentración de SO₂

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	Gl	Sig.
Concentración SO ₂	,152	17	,200*	,963	17	,686
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.						
a. Corrección de significación de Lilliefors						

La tabla 1 muestra los resultados de las pruebas de normalidad aplicadas a la concentración diaria promedio de SO₂ (μg/m³) registrada entre abril y mayo de 2025 (n = 17) indican que los datos se ajustan a una distribución aproximadamente normal. En la prueba de Shapiro–Wilk arrojó un estadístico de 0.963 con p = 0.686, confirmando la ausencia de evidencia estadística para afirmar que la distribución difiere de la normal, lo cual respalda el uso de análisis paramétrico posterior.

Planteamiento de hipótesis:

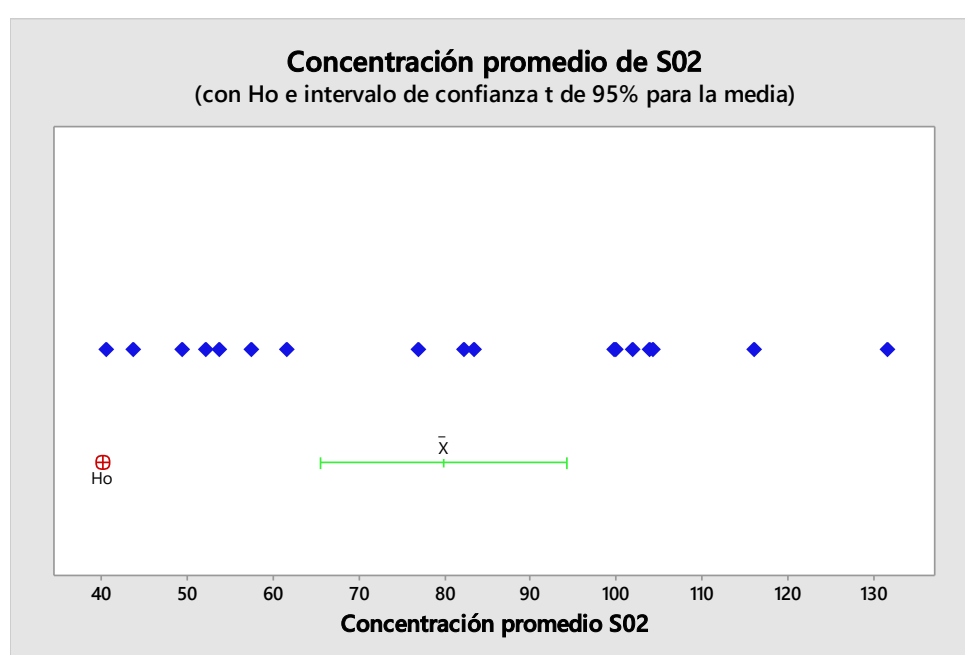
H₀: μ≤40, en promedio, la concentración cumple el estándar OMS (p-value>=0.05).

H₁: μ>40 en promedio, la concentración supera el estándar OMS (p-value<0.05).

Tabla 11.*Prueba para una muestra, concentración de SO₂*

Prueba para una muestra						
	Valor de prueba = 40					
	T	Gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Concentración SO ₂	5,862	16	,000	39,84118	25,4329	54,2494

Con base en el contraste de una muestra respecto al valor de referencia de 40 µg/m³ (OMS), se planteó como hipótesis nula que la concentración promedio de SO₂ cumple el estándar ($H_0: \mu \leq 40$) y como alternativa que lo supera ($H_1: \mu > 40$). Los resultados muestran un estadístico $t = 5.862$ con $gl = 16$ y una significancia $p = 0.000$ (< 0.05), por lo que se rechaza H_0 y se acepta que la concentración promedio excede el límite establecido. Además, la diferencia de medias fue 39.84 µg/m³, lo que indica que el promedio observado se ubicó aproximadamente en 79.84 µg/m³ ($40 + 39.84$). El intervalo de confianza al 95% para la diferencia (25.43 a 54.25) confirma que el exceso es estadísticamente significativo y positivo.

Figura 9.*Concentración promedio SO₂*

Variable

X : concentración diaria de SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), abril–mayo 2025 (Segunda temporada).

Prueba de normalidad:

H_0 : los datos de la concentración promedio medidas son normales ($p\text{-value} \geq 0.05$).

H_1 : los datos de la concentración promedio medidas no son normales ($p\text{-value} < 0.05$).

Tabla 12.

Prueba de normalidad para concentración SO_2 (abril-mayo 2025)

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	Gl	Sig.
Concentración SO_2	,163	12	,200*	,857	12	,0.044
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.						
a. Corrección de significación de Lilliefors abril.						

La tabla 2 muestra los resultados de las pruebas de normalidad aplicadas a la concentración diaria promedio de SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) registrada entre noviembre y diciembre de 2025 ($n = 12$) indican que los datos no se ajustan a una distribución aproximadamente normal. En la prueba de Shapiro–Wilk arrojó un estadístico de 0.857 con $p = 0.044$, confirmando la ausencia de evidencia estadística para afirmar que la distribución es de comportamiento normal, lo cual respalda el uso de análisis no paramétrico posterior.

Planteamiento de hipótesis:

H_0 : $\mu \geq 40$, en promedio, la concentración cumple el estándar OMS ($p\text{-value} \geq 0.05$).

H_1 : $\mu < 40$ en promedio, la concentración supera el estándar OMS ($p\text{-value} < 0.05$).

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Mediana
Concentración promedio de SO_2	12	67.8625

Prueba Wilcoxon

Hipótesis nula H_0 : $\eta = 40$

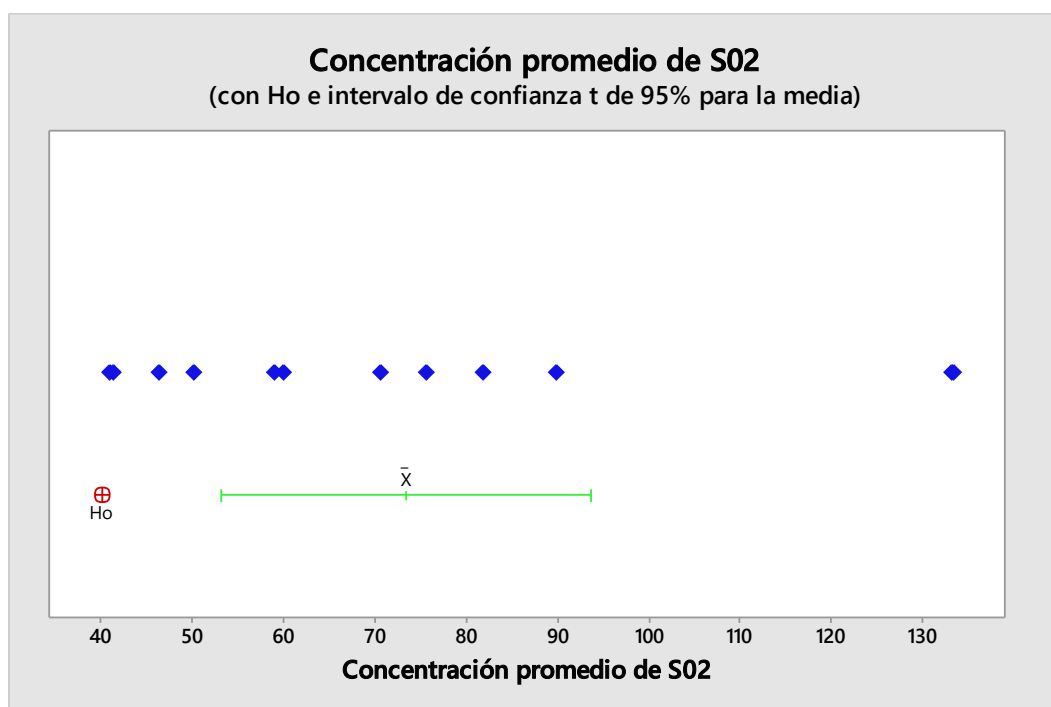
Hipótesis alterna $H_1: \eta < 40$

Muestra	Número		Valor p
	de prueba	Estadística de Wilcoxon	
Concentración SO ₂	12	78.00	0.999

Dado que la concentración diaria de SO₂ no presentó distribución normal ($p < 0.05$ en Kolmogorov–Smirnov y Shapiro–Wilk), se empleó la prueba no paramétrica de Wilcoxon para una muestra, contrastando la mediana poblacional frente al valor guía de la OMS (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Se estableció como hipótesis nula $H_0: \eta = 40$, mientras que la hipótesis alterna fue $H_1: \eta < 40$, orientada a verificar cumplimiento (mediana inferior al umbral). Los resultados obtenidos para $n = 12$ mostraron una estadística de Wilcoxon = 78.00 y un valor $p = 0.999$, muy superior a 0.05, rechazando la hipótesis alterna, lo que indica que no existe evidencia estadística para afirmar que la mediana de SO₂ sea menor que 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Por tanto, bajo este enfoque no paramétrico, los datos no respaldan el cumplimiento del valor guía OMS en el periodo evaluado.

Figura 10.

Concentración promedio de SO₂ (abril-mayo 2025)



B. Concentración promedio de H₂S, ECA H₂S (ug/m³) - OMS

Variable:

X: concentración promedio mensual de H₂S (μg/m³) para meses 2025–enero 2026.

Prueba de normalidad:

H₀: los datos de la concentración promedio medidas son normales (p-value>=0.05).

H₁: los datos de la concentración promedio medidas no son normales (p-value<0.05).

Tabla 13.

Prueba de normalidad para concentración de H₂S

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Concentración de H ₂ S	,151	13	,200*	,925	13	,290
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.						
a. Corrección de significación de Lilliefors						

Los resultados de las pruebas de normalidad aplicadas a la concentración promedio mensual de H₂S (μg/m³) para el periodo 2025–enero 2026 (n = 13) evidencian un comportamiento compatible con la distribución normal. En la prueba de Shapiro–Wilk reportó un estadístico de 0.925 con p = 0.295, resultado ligeramente superior al nivel de significancia establecido, indicando que no existe evidencia estadística suficiente para afirmar que los datos se apartan de la normalidad, lo que, permite asumir normalidad en la distribución de H₂S, habilitando el uso de procedimientos paramétricos en análisis posteriores.

Planteamiento de la hipótesis:

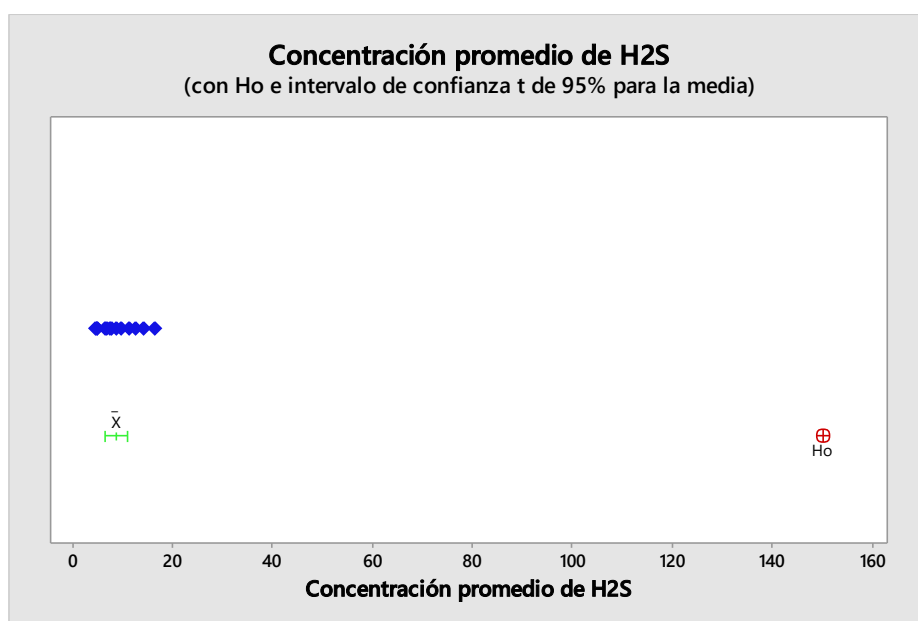
H₀: H₀: $\mu \geq 150$, en promedio mensual, el H₂S no cumple el ECA (p-value>=0.05).

H₁: $\mu < 150$ en promedio mensual, el H₂S cumple el ECA (p-value<0.05).

Tabla 14.*Prueba de una muestra para concentración H₂S*

Prueba para una muestra						
	Valor de prueba = 150					
	T	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Concentración de H ₂ S	-135,743	12	,000	-141,26581	-143,5333	-138,9983

En relación con la prueba t para una muestra aplicada a la concentración promedio mensual de H₂S, se contrastó el valor de referencia 150 µg/m³ (ECA). Los resultados obtenidos muestran un estadístico extremadamente negativo ($t = -135.743$, $gl = 12$) con significancia $p = 0.000$, evidenciando que la media observada es significativamente distinta del valor de prueba. La diferencia de medias = -141.26 µg/m³ indica que el promedio mensual estimado fue aproximadamente 8.74 µg/m³ ($150 - 141.26$), es decir, muy por debajo del estándar. El intervalo de confianza al 95% para la diferencia (-143.53 a -138.99) confirma una reducción significativa respecto al valor de referencia, respaldando el cumplimiento holgado del ECA.

Figura 11.*Concentración promedio de H₂S*

C. Concentración promedio de PM10, ECA PM10 (ug/m3) - PERÚ

Variable:

X: concentración promedio mensual de PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), periodo 2025–enero 2026.

Prueba de normalidad:

Ho: los datos de la concentración promedio medidas son normales ($p\text{-value} \geq 0.05$).

H₁: los datos de la concentración promedio medidas no son normales ($p\text{-value} < 0.05$).

Tabla 15.

Prueba de normalidad para concentración PM₁₀

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Concentración de PM10	,194	13	,192	,874	13	,059
a. Corrección de significación de Lilliefors						

Los resultados de las pruebas de normalidad aplicadas a la concentración promedio mensual de PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para el periodo 2025–enero 2026 ($n = 13$) indican que los datos presentan un comportamiento compatible con una distribución normal. En la prueba de Shapiro–Wilk reportó un estadístico de 0.874 con $p = 0.059$, valor ligeramente mayor que 0.05, lo cual sugiere que no existe evidencia estadística suficiente para afirmar que la distribución de PM10 difiere de la normal, respaldando la asunción de normalidad, permitiendo la aplicación de análisis paramétricos en evaluaciones posteriores respecto al ECA establecido para PM10 en Perú.

Planteamiento de hipótesis:

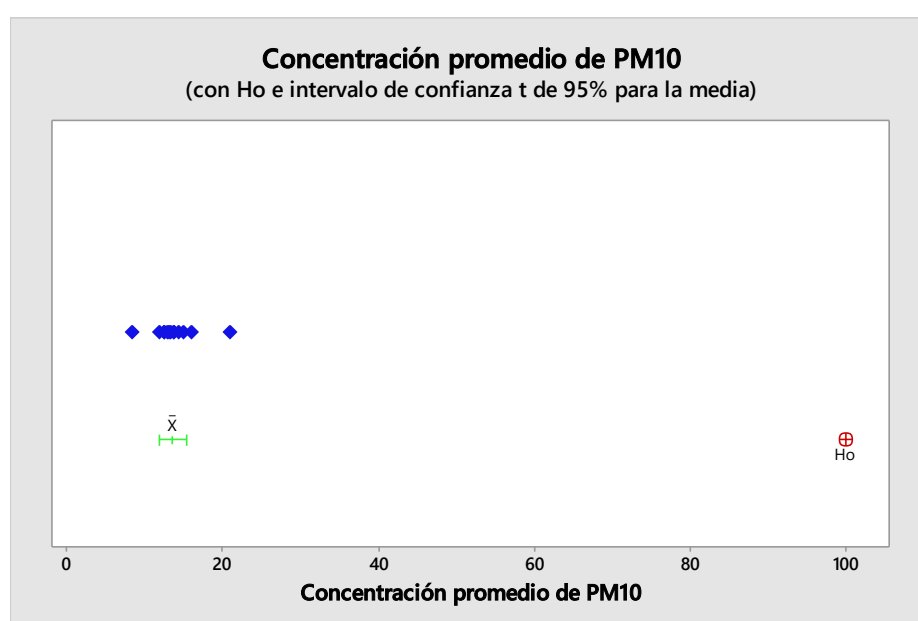
Ho: $\mu \geq 100$, el promedio mensual de PM10 no cumple el límite PERU ($p\text{-value} \geq 0.05$).

H₁: $\mu < 100$, el promedio mensual de PM10 cumple el límite PERU ($p\text{-value} < 0.05$).

Tabla 16.*Prueba para una muestra para concentración PM_{10}*

Prueba para una muestra						
	Valor de prueba = 100					
	t	Gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Concentración de PM_{10}	-110,192	12	,000	-86,40399	-88,1124	-84,6955

En el contraste t para una muestra aplicado a la concentración promedio mensual de PM_{10} , se comparó la media observada con el valor de referencia de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Los resultados muestran un estadístico altamente negativo ($t = -110.192$, $gl = 12$) con significancia $p = 0.000$, evidenciando que la media de PM_{10} es significativamente menor que el valor de prueba. La diferencia de medias = $-86.40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ indica que el promedio estimado fue aproximadamente $13.60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($100 - 86.40$), es decir, muy por debajo del umbral considerado. Asimismo, el intervalo de confianza al 95% para la diferencia (-88.11 a -84.70) confirma que la reducción es estadísticamente significativa, respaldando que la concentración mensual de PM_{10} cumple holgadamente el estándar establecido.

Figura 12.*Concentración promedio de PM_{10}* 

D. Concentración promedio de PM2.5 en marzo 2025, PM2.5 (15 ug/m3) - OMS

Variable:

X: concentración diaria de PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), marzo 2025.

Prueba de normalidad:

H₀: los datos de la concentración promedio medidas son normales (p-value $\geq$ 0.05).

H₁: los datos de la concentración promedio medidas no son normales (p-value $<$ 0.05).

Tabla 17.

Prueba para una muestra para concentración de PM2.5

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Concentración de PM2.5	,162	15	,200*	,958	15	,665
a. Corrección de significación de Lilliefors						

Los resultados de las pruebas de normalidad aplicadas a la concentración diaria de PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) registrada en el mes de marzo de 2025 (n = 15) evidencian que los datos siguen una distribución normal. En la prueba de Shapiro–Wilk reportó un estadístico de 0.958 con p = 0.665, confirmando estadísticamente que la distribución es normal, respaldando la ausencia de asimetrías o valores extremos en la serie de PM2.5, por lo que se recomienda emplear procedimientos paramétricos para contrastes posteriores (por ejemplo, prueba de t Student o análisis basados en promedios).

Planteamiento de hipótesis:

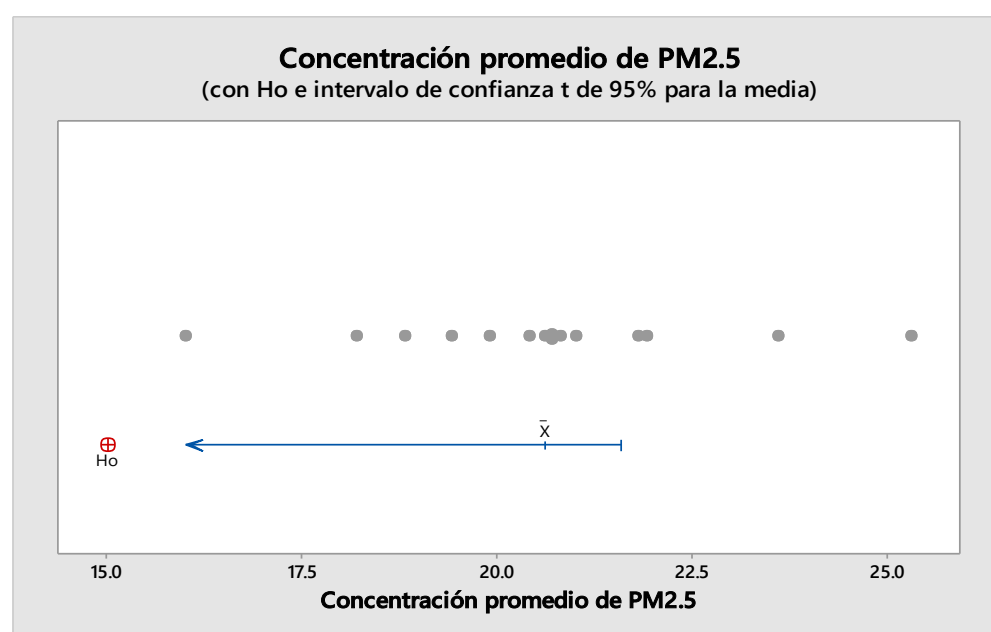
H₀: $\mu \geq 15$, el nivel promedio de PM2.5 no cumple el valor guía OMS (p-value $\geq$ 0.05).

H₁: $\mu < 15$, el nivel promedio de PM2.5 cumple el valor guía OMS (p-value $<$ 0.05).

Tabla 18.*Prueba t para una muestra para concentración PM2.5*

Prueba para una muestra						
	Valor de prueba = 15					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Concentración de PM2.5	9,958	14	,000	5,60667	4,3991	6,8142

La prueba t para una muestra reporta un estadístico elevado ($t = 9,958$; $gl = 14$) y un valor $p < 0,001$, estos resultados indican que la media muestral es significativamente diferente y mayor que el valor de referencia, no menor. La diferencia de medias positiva ($5,61 \mu\text{g}/\text{m}^3$) confirma que el promedio supera el umbral de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y el intervalo de confianza al 95 % (4,40–6,81) respalda esta diferencia al no incluir valores negativos. En consecuencia, no se puede aceptar la hipótesis alternativa (H_1). Se rechaza H_1 y se mantiene H_0 , concluyéndose que el nivel promedio de PM2.5 no cumple con el valor guía establecido por la OMS.

Figura 13.*Concentración promedio de PM2.5*

E. Concentración promedio de PM2.5 en abril-julio 2025, PM2.5 (15 ug/m3) - OMS

Variable:

X: concentración diaria de PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), abril–julio 2025.

Prueba de normalidad:

H₀: los datos de la concentración promedio medidas son normales (p-value $\geq$ 0.05).

H₁: los datos de la concentración promedio medidas no son normales (p-value $<$ 0.05).

Tabla 19.

Prueba de normalidad para concentración de PM_{2.5}

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Concentración de PM2.5	,208	20	,023	,875	20	,015
a. Corrección de significación de Lilliefors						

Los resultados de las pruebas de normalidad aplicadas a la concentración diaria de PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) registrada entre abril y julio de 2025 (n = 20) evidencian que los datos no siguen una distribución normal. En la prueba de Shapiro–Wilk reportó un estadístico de 0.875 con p = 0.015, confirmando estadísticamente que la distribución se aparta de la normal, respaldando la presencia de asimetrías o valores extremos en la serie de PM2.5, por lo que se recomienda emplear procedimientos no paramétricos para contrastes posteriores (por ejemplo, prueba de Wilcoxon o análisis basados en mediana), o aplicar transformaciones antes de utilizar pruebas paramétricas.

Planteamiento de hipótesis:

H₀: $\mu \geq 15$, el nivel promedio de PM2.5 no cumple el valor guía OMS (p-value $\geq$ 0.05).

H₁: $\mu < 15$, el nivel promedio de PM2.5 cumple el valor guía OMS (p-value $<$ 0.05).

Prueba Wilcoxon

Hipótesis nula H₀: $\eta = 15$

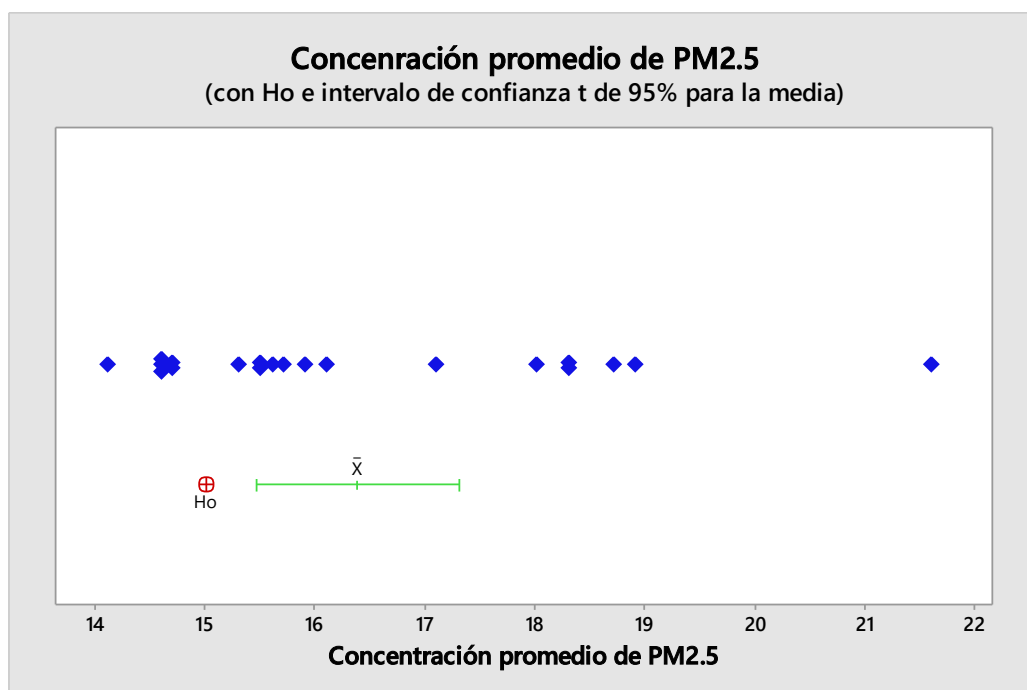
Hipótesis alterna H₁: $\eta < 15$

Muestra	Número de prueba	Estadística de Wilcoxon	Valor p
Concentración PM2.5	20	179.50	0.997

Dado que la concentración diaria de PM2.5 no presentó distribución normal ($p < 0.05$ en Kolmogorov–Smirnov y Shapiro–Wilk), se empleó la prueba no paramétrica de Wilcoxon para una muestra, contrastando la mediana poblacional frente al valor guía de la OMS ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Se estableció como hipótesis nula $H_0: \eta = 15$, mientras que la hipótesis alterna fue $H_1: \eta < 15$, orientada a verificar cumplimiento (mediana inferior al umbral). Los resultados obtenidos para $n = 20$ mostraron una estadística de Wilcoxon = 179.50 y un valor $p = 0.997$, muy superior a 0.05, rechazando la hipótesis nula, lo que indica que no existe evidencia estadística para afirmar que la mediana de PM2.5 sea menor que $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Por tanto, bajo este enfoque no paramétrico, los datos no respaldan el cumplimiento del valor guía OMS en el periodo evaluado.

Figura 14.

Concentración promedio de PM2.5



4.2. DISCUSIÓN

4.2.1. Discusión de Resultados del Objetivo Específico N°01

En el análisis de las emisiones directas de contaminantes de las fábricas pesqueras de la Zona Industrial Gran Trapecio, aledaña al Asentamiento Humano “15 de abril” del distrito de Chimbote en el año 2025, se observó que los niveles de sulfuro de hidrógeno (H_2S) se mantuvieron significativamente bajos, con un máximo de 6 ug/m^3 . Este valor cumple holgadamente con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) nacionales regulados en el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, el cual establece un máximo 150 ug/m^3). Este hallazgo guarda coherencia con la investigación de Ramírez (2021), recabada como antecedente en la presente investigación, quien también identificó concentraciones de H_2S dentro de los parámetros legales en la industria local de Chimbote, sugiriendo que los sistemas de control de gases están operando bajo los límites permitidos por el Decreto Supremo N° 003-2008-MINAM.

No obstante, la situación del material particulado presenta una realidad distinta. Aunque los valores máximos hallados de $\text{PM}_{2.5}$ (34 ug/m^3) y PM_{10} (64.02 ug/m^3) no superaron el ECA peruano, ambos excedieron considerablemente las directrices internacionales de la Organización Mundial de la Salud (OMS), que establece límites mucho más estrictos, siendo estos de 15 ug/m^3 para $\text{PM}_{2.5}$ y de 45 ug/m^3 para PM_{10} . Asimismo, los resultados hallados en las plantas pesqueras de Chimbote sobrepasaron los estándares fijados por la Unión Europea (25 ug/m^3 para $\text{PM}_{2.5}$ y 50 ug/m^3 para PM_{10}), los cuales, si bien no comprenden un panorama global como los de la OMS, dan cuenta de las regulaciones vigentes en países más desarrollados que el nuestro. En general, estas discrepancias entre la normativa nacional y las recomendaciones internacionales indica que, si bien las fábricas pesqueras de la Zona Industrial Gran Trapecio operan dentro de la legalidad peruana, sus emisiones de partículas finas representan un riesgo potencial para la salud pública según estándares globales de protección del ambiente y la salud humana.

Estos resultados contradicen parcialmente lo hallado por Galarreta (2019), quien sostuvo que las concentraciones de PM_{10} en la provincia del Santa no representaban un peligro para la salud. En realidad, los hallazgos de esta investigación indican la presencia de valores por encima de las directrices de la OMS durante el año 2025, lo cual demuestra que las partículas generadas en el proceso de secado de harina de pescado siguen siendo un componente crítico de la carga contaminante, en tanto la persistencia de estos niveles

sugiere que los mecanismos y tecnologías para su mitigación son insuficientes para alcanzar los estándares de calidad del aire propuestos por organismos internacionales.

4.2.2. Discusión de Resultados del Objetivo Específico N°02

En cuanto al análisis de la calidad del aire en el Asentamiento Humano “15 de abril” del distrito de Chimbote en el año 2025, logrado a partir de los datos de la estación de monitoreo de la OEFA CA-01 CHIMBOTE, se tiene que el monitoreo del sulfuro de hidrógeno (H_2S) mostró concentraciones máximas de 25 ug/m^3 . Aunque este valor es reducido en comparación con el ECA peruano de 150 ug/m^3 , es fundamental considerar que el umbral de detección olfativa del H_2S es extremadamente bajo, oscilando entre 0.0005 y 0.3 ppm, conforme se plasmó en el marco teórico de la investigación. Ello explica por qué, a pesar del cumplimiento de los estándares, la población chimbotana percibe olores desagradables que afectan el bienestar y la calidad de vida.

Respecto al dióxido de azufre (SO_2), se registró un máximo de 133.3 ug/m^3 . Si bien este valor está por debajo del ECA nacional, fijado en 250 ug/m^3 , supera ampliamente el límite fijado por la Organización Mundial de la salud, que es de 40 ug/m^3 , y supera levemente el límite referencial establecido por la Unión Europea, señalado en 125 ug/m^3 ; en consecuencia, la calidad del aire cumple con los parámetros nacionales, pero se aleja gravemente de los establecidos internacionalmente. Este hallazgo es consistente con la investigación de Torres (2011), quien reportó que los niveles de óxidos de azufre en zonas urbanas aledañas a la industria pesquera en el distrito de Chimbote suelen sobrepasar los estándares de calidad del aire, confirmando que el SO_2 es un contaminante persistente en el área de influencia de la Zona Industrial Gran Trapecio.

Por otro lado, el material particulado fino $\text{PM}_{2.5}$ alcanzó un máximo de 25.3 ug/m^3 , lo que califica la calidad del aire como "Moderada" según el Índice de Calidad del Aire (INCA) de Perú, a la vez que no supera el límite máximo de 50 ug/m^3 establecido por la legislación peruana; no obstante, se advierte que la concentración de $\text{PM}_{2.5}$ superó los límites señalados por las directrices de la OMS (15 ug/m^3) y, aunque en una sola oportunidad, de la Unión Europea (25 ug/m^3). Esto refuerza lo planteado por Kuramoto (2005), quien advirtió en su investigación que las emanaciones de polvos y gases en las zonas industriales de Chimbote repercuten directamente en la salud de los pobladores más vulnerables y en la calidad del medio ambiente, a pesar de que las mediciones individuales parezcan estar dentro de la norma local.

Finalmente, el PM_{10} mostró un comportamiento más estable, con un máximo de $30.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, cumpliendo con los estándares nacionales e internacionales de la OMS y la Unión Europea. Esta diferencia entre la normalidad del PM_{10} y el riesgo elevado del $PM_{2.5}$ sugiere que la contaminación en el Asentamiento Humano “15 de abril” está dominada por partículas más finas procedentes de la combustión industrial. Esto se condice con lo desarrollado por Carbajal (2022), citado como antecedente de la presente investigación, quien concluye que la peligrosidad del aire en zonas aledañas a cúpulas industriales no reside en las partículas gruesas (PM_{10}), las cuales suelen mostrarse moderadas, sino en las partículas finas ($PM_{2.5}$) que penetran en el sistema respiratorio.

4.2.3. Discusión de Resultados del Objetivo Específico N°03

La evaluación mediante la prueba t-Student para el SO_2 confirmó con una significancia de $p = 0.000$ que la concentración promedio en el Asentamiento Humano “15 de abril” supera el estándar de la OMS, el cual es de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El exceso estadísticamente significativo identificado valida que el impacto de la actividad industrial no es un hecho aislado o fortuito, sino una tendencia constante durante las temporadas de producción pesquera en 2025. Este rigor estadístico permitiría afirmar que el aire de la atmósfera del Asentamiento Humano “15 de abril” está sometido a una presión antropogénica que excede las capacidades de dispersión natural de la zona.

En cuanto a la concentración de H_2S , los resultados permiten asumir normalidad en su distribución, pues el promedio mensual estimado fue aproximadamente de $8.74 \mu\text{g}/\text{m}^3$, esto es, muy por debajo del estándar de calidad fijado en $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De igual forma, la concentración de PM_{10} se halló dentro de los parámetros de normalidad, toda vez que el promedio mensual estimado fue aproximadamente de $13.60 \mu\text{g}/\text{m}^3$, encontrándose por debajo del estándar de calidad fijado por la OMS en $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Asimismo, la aplicación de la prueba de Wilcoxon para el $PM_{2.5}$ entre abril y junio de 2025, meses pertenecientes a la temporada de pesca, arrojó un valor p de 0.997, lo que indica que estadísticamente la mediana de concentración de partículas finas $PM_{2.5}$ fue superior al umbral de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que establece la OMS. Más aún, cobran relevancia los resultados evidenciados para el $PM_{2.5}$ en marzo de 2025, puesto que, incluso encontrándose en un mes en el que no se desarrolla la temporada de pesca, los valores registrados igualmente superaron los límites establecidos por la OMS. Lo recabado guarda estrecha relación con lo expuesto por Custodio (2018), quien a través de un análisis de impactos negativos concluyó que el material particulado fino afecta la calidad

del aire de Chimbote de manera muy significativa. En añadidura, afírmese que la estadística demuestra que la exposición de la población no es accidental, sino sistemática.

El análisis estadístico general evidencia una paradoja en la gestión ambiental de las zonas aledañas a las fábricas pesqueras de Chimbote, puesto que, aunque se respeten los límites máximos permitidos por la normativa nacional, el efecto acumulativo de las múltiples fuentes en el clúster pesquero altera significativamente la calidad de aire, lo cual concuerda con el hecho de que los contaminantes SO_2 , $\text{PM}_{2.5}$ y PM_{10} superen los estándares fijados internacionalmente. Esto pone de manifiesto la necesidad de revisar las normativas y los instrumentos de gestión ambiental a nivel nacional, ya que el cumplimiento legal de estos límites por parte de las empresas pesqueras no garantiza automáticamente una calidad de aire saludable para la población circundante.

4.2.4. Discusión de Resultados del Objetivo General

La investigación demuestra de manera integral que las emisiones de las fábricas pesqueras ejercieron una influencia negativa sobre la calidad del aire en el Asentamiento Humano “15 de abril” durante el año 2025. El análisis conjunto de los resultados directos de las fábricas y el monitoreo en la estación de calidad del aire cercana al asentamiento humano confirman la hipótesis planteada. La relación se hace evidente al observar que los picos de contaminación por SO_2 y $\text{PM}_{2.5}$ coinciden temporal y espacialmente con los periodos de mayor funcionamiento industrial en el sector Gran Trapecio.

La calidad del aire en el sector evaluado del Asentamiento Humano “15 de abril” está comprometida por la actividad transformativa de la industria pesquera. Los hallazgos del 2025 confirman que el derecho a un ambiente equilibrado y adecuado para la vida sigue siendo vulnerado en el Asentamiento Humano “15 de abril”, donde la población convive con niveles de contaminantes que, si bien son tolerados por la ley peruana, son rechazados por la ciencia médica internacional representada por la OMS y los estándares referenciales fijados en normas internacionales de la Unión Europea.

Asimismo, los hallazgos coinciden con los antecedentes revisados, donde se reconoce que las industrias pesqueras en zonas costeras generan impactos atmosféricos cuando no cuentan con sistemas adecuados de tratamiento de emisiones. El estudio aporta evidencia local actualizada para el año 2025, fortaleciendo la base científica para la toma de decisiones. En síntesis, el objetivo general se cumple plenamente, al demostrarse empírica

y estadísticamente el impacto de las emisiones industriales en la calidad del aire del asentamiento humano evaluado.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Se determinó que las emisiones de las fábricas pesqueras de la Zona Industrial Gran Trapecio cumplen con los LMP nacionales para H_2S , PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$; no obstante, las concentraciones de material particulado exceden las directrices internacionales de la OMS, alcanzando hasta 34 ug/m^3 para $\text{PM}_{2.5}$, evidenciando una brecha de protección ambiental en la fuente emisora.

La calidad del aire en el Asentamiento Humano “15 de abril” presenta niveles elevados de SO_2 (pico de 133.3 ug/m^3) y $\text{PM}_{2.5}$ (pico de 25.3 ug/m^3) que superan los estándares de salud internacionales, mientras que el H_2S y el PM_{10} se mantienen en niveles bajos o moderados, pero perceptibles por los sentidos humanos, afectando igualmente el bienestar de la comunidad.

La evaluación estadística mediante pruebas paramétricas y no paramétricas confirmó que las concentraciones de SO_2 y $\text{PM}_{2.5}$ en el Asentamiento Humano “15 de abril” son superiores a los valores guía de la OMS, lo que demuestra un impacto ambiental estadísticamente significativo derivado de la actividad industrial, más allá de que se cumpla en teoría con los estándares nacionales.

Se concluye que las emisiones de las fábricas pesqueras tuvieron una influencia negativa directa sobre la calidad del aire del Asentamiento Humano “15 de abril” en el año 2025, debido a que la carga contaminante emitida en la Zona Industrial Gran Trapecio eleva sistemáticamente los niveles de gases y partículas finas por encima de los umbrales de seguridad para la salud humana.

5.2. RECOMENDACIONES

A las empresas pesqueras del sector Gran Trapecio: Se recomienda implementar y optimizar sistemas de condensación de vahos y lavadores de gases de alta eficiencia para reducir drásticamente las emisiones de SO₂ y material particulado, buscando alcanzar los estándares de la OMS como parte de su responsabilidad social y ambiental.

Al Ministerio del Ambiente (MINAM) y la DIGESA: Se recomienda actualizar los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire en el Perú, tomando como referencia los valores actualizados de la OMS (2021), especialmente para el PM_{2.5} y SO₂, para reducir la vulnerabilidad de las poblaciones que residen en zonas de influencia industrial.

A la Municipalidad Provincial del Santa y autoridades locales: Se recomienda establecer una zona de amortiguamiento o "barrera verde" mediante la plantación de especies arbóreas de gran follaje entre la zona industrial y el Asentamiento Humano "15 de abril", lo que permitirá la filtración natural de partículas y la mitigación de los impactos visuales y olfativos en la población.

A las universidades e instituciones de investigación: Se recomienda continuar con el monitoreo participativo de la calidad del aire y realizar estudios de salud pública en el Asentamiento Humano "15 de abril" para determinar la correlación directa entre los picos de emisiones registrados y la incidencia de enfermedades respiratorias en la población infantil, así como para propulsar futuras investigaciones sobre la problemática.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anglés, M., Rovalo, M. y Tejado, M. (2021). *Manual de Derecho Ambiental mexicano*. Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM. <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/13/6429/13.pdf>
- Arciniégas, C. (2012). Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM10. *Revista Luna Azul*, (34), 195-213. <https://www.redalyc.org/pdf/3217/321727348012.pdf>
- Arenas, J. (2017). *Determinación del material particulado pm10 y pm 2.5, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno en el Distrito Yura – Arequipa* [Tesis para obtener el título de ingeniero ambiental, Universidad Nacional de San Agustín]. <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/6e0caa2f-451c-4dea-800a-e21f7e539dea/content>
- Ato, M., López, J. y Benavente, A. (2013). Un sistema de clasificación de los diseños de investigación en psicología. *Anales de Psicología*, 29(3). 1038-1059. <https://dx.doi.org/10.6018/analesps.29.3.178511>
- Bravo, G., Osorio, P. y Cruz, M. (2021). *Tecnologías aplicadas a la industria transformadora de productos del mar para consumo humano*. INAPI-Chile. https://www.inapi.cl/docs/default-source/default-document-library/informe_vt_2.pdf?sfvrsn=3e72574f_0#:~:text=a%20industria%20pesquera%2C%20en%20t%C3%A9rminos,organismos%20acu%C3%A1ticos%20de%20valor%20comercial.
- Canales, G. (2019). *Monitoreo y evaluación de los gases monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrógeno sulfurado (H₂S) presentes en el distrito de Alto Selva Alegre - Arequipa* [Tesis de maestría en ciencias con mención en gerencia, auditoría y gestión ambiental, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa]. <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/d0591342-dada-440c-b499-88eae4efc54b>
- Carbajal, M. (2022). *Calidad del aire por la emisión de Material Particulado en la comunidad de Sacsamarca, Huancavelica – 2021* [Tesis para obtener el título profesional de ingeniero ambiental y sanitario, Universidad Nacional de Huancavelica]. <https://repositorio.unh.edu.pe/items/787a2a6f-b586-4a5f-b65b-1315c07e2df6>

- Contreras, S. (2011). La contaminación heredada: diferentes realidades, distintas soluciones. *LEX – Revista de la Facultad de Derecho y Ciencias Políticas*, 9(8), 305-318. <http://dx.doi.org/10.21503/lex.v9i8.411>
- Córdova Mendoza, P., Barrios Mendoza, T. y Córdova Barrios, I. (2021). Primera caracterización de emisiones contaminantes y la calidad del aire en Ica, Perú. *Revista Cubana de Química*, 33(1), 138-152. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212021000100138&lng=es&nrm=iso
- Custodio, P. (2018). *Impactos ambientales del dióxido de azufre y material particulado (PM2.5), sobre la calidad del aire. Chimbote, 2014-2016* [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Santa]. <https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/3293/48974.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Decreto Legislativo N° 1013. (14 de mayo del 2008). Diario Oficial El Peruano. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5008764/Decreto_Legislativo_1013_Creaci%C3%B3n_del_MINAM.pdf?v=1692306854
- Decreto Supremo N°003-2017-MINAM. (07 de junio de 2017). Diario Oficial El Peruano. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-003-2017-MINAM.pdf>
- Decreto Supremo N°011-2009-MINAM. (16 de mayo de 2009). Diario Oficial El Peruano. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/per91098.pdf>
- Delgado Villanueva, A. y Aguirre Loayza, A. (2020). Modelamiento y evaluación del nivel de calidad del aire mediante el análisis de grey clustering, estudio de caso Lima metropolitana. *Tecnia*, 30(1), 114-120. <http://dx.doi.org/10.21754/tecnia.v30i1.588>
- Desamparados, R. (2012). *Contaminantes atmosféricos particulados: Evaluación de las fuentes de origen y de su contribución a la contaminación atmosférica en el clúster cerámico de Castellón* [Tesis de doctorado, Universidad Jaime I Castellón]. <https://www.tdx.cat/handle/10803/96525?locale-attribute=es>
- Díaz, J. (2019). *Niveles de concentración de PM10, NO2, SO2, H2S, CO y variables meteorológicas en la zona industrial de Villa El Salvador* [Tesis para para obtener

- el título profesional de ingeniero ambiental, Universidad Tecnológica de Lima Sur]. <http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/175>
- Encinas, M. (2011). *Medio ambiente y contaminación: principios básicos*. <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/16784/Medio%20Ambiente%20y%20Contaminaci%C3%B3n.%20Principios%20b%C3%A1sicos.pdf?sequence=6>
- Fernández, J. y Potenciano, A. (2021). *Evaluación de la contaminación en el aire por material particulado PM10 en el cercado de la ciudad de Chiclayo* [Tesis para obtener el título profesional de ingeniero ambiental, Universidad César Vallejo]. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/75934/Fernandez_TJMA_Potenciano_FA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Figueruelo, J. (2004). *Química física del ambiente y de los procesos medioambientales*. Editorial Reverte.
- Flores, J., López, S. y Albert, L. (1995). *La contaminación y sus efectos en la salud y el ambiente*. Centro de Ecología y Desarrollo.
- Galarreta, M. (2019). *Concentración de Sulfuro de Hidrógeno y Partículas en Suspensión en el aire, en los días de pesca en tres distritos de la Provincia del Santa Coischo, Chimbote y Nuevo Chimbote en el 2017* [Tesis de maestría en ciencias en gestión ambiental, Universidad Nacional del Santa]. <https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/3551/85122.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gotor, C. (2020). *Sulfuro de hidrógeno: una molécula esencial para la vida*. SEBBM. https://sebbm.es/wp-content/uploads/mayo2020_CeciliaGotor.pdf
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. (6ª ed.). Interamericana Editores S.A. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Huamaní, S. (2019). *Habilidades de investigación pedagógica en los docentes de primaria* [Tesis de segunda especialidad, Universidad Nacional de Tumbes]. [https://repositorio.untumbes.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12874/1641/HUAMANI%20MANTARI%20C%20SOFIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=M ej%C3%ADa%20\(2017\)%20%E2%80%9CLa%20investigaci%C3%B3n,para%20llegar%20a%20conclusiones%20relevantes.](https://repositorio.untumbes.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12874/1641/HUAMANI%20MANTARI%20C%20SOFIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=M ej%C3%ADa%20(2017)%20%E2%80%9CLa%20investigaci%C3%B3n,para%20llegar%20a%20conclusiones%20relevantes.)

- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España. (2014). *Dióxido de azufre: documentación toxicológica para el establecimiento del límite de exposición profesional del dióxido de azufre*. INSHT. <https://www.insst.es/documents/94886/289651/DLEP+86+DIOXIDO+DE+AZUFRE.pdf/d339b938-aa66-4f09-a056-39c2866676af>
- IQAir. (2021). *2021 World Air Quality Report*. https://www.iqair.com/dl/pdf-reports/world-air-quality-report-2021-en.pdf?srsltid=AfmBOopT0ifTAjsuUrJbUysIS_qQuoHaImH9oHxI5kVa5JaIDn23o0T
- Juan, J. (2017). Identificación y evaluación de impactos ambientales en el Campus Ciudad Universitaria, Universidad Autónoma del Estado de México, Cerro de Coatepec, Toluca México. *Acta Universitaria*, 27(3), 36-56. <https://doi.org/10.15174/au.2017.1249>
- Kuramoto, J. (2005). *El clúster pesquero de Chimbote: Acción conjunta limitada y la tragedia de los recursos colectivos*. GRADE.
- Ley N° 28611 – Ley General del Ambiente. (15 de octubre de 2005). Diario Oficial El Peruano. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-28611.pdf>
- Martínez Ataz, E. y Díaz de Mera, Y. (2004). *Contaminación Ambiental*. Universidad de Castilla-La Mancha.
- Ministerio del Ambiente. (2012). *Glosario de Términos para la Gestión Ambiental peruana*. MINAM. <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/504.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Informe Nacional de la Calidad del Aire 2013-2014*. MINAM. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/07/Informe-Nacional-de-Calidad-del-Aire-2013-2014.pdf>
- Montenegro, E. & Lujan, M. (2018). Análisis de la variación estacional de la contaminación atmosférica y su relación con variables climáticas en el valle central de Cochabamba, Bolivia. *Acta Nova*, 8(3), 451-466. http://www.scielo.org.bo/pdf/ran/v8n3/v8n3_a11.pdf

- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2015). *Instrumentos básicos para la fiscalización ambiental*. OEFA. https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=13978.8
- Organización Mundial de la Salud. (19 de diciembre del 2022). *Contaminación del aire ambiente (exterior)*. OMS. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Organización Panamericana de la Salud. (2018). *Contaminación del aire ambiental exterior y en la vivienda: Preguntas frecuentes*. OPS. <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire-salud/contaminacion-aire-ambiental-exterior-vivienda-preguntas-frecuentes>
- Orizaola, M. (2017). *Una visión global del efecto invernadero*. Universidad de Cantabria. <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/12567/OrizaolaMadradoMiguel.pdf?sequence=1#:~:text=El%20efecto%20invernadero%20es%20un%20fen%C3%B3meno%20natural%20que%20se%20da,greenpeace.org%2C%202010>
- Pacheco, M. (2005). El ambiente, más allá de la naturaleza. *Elementos: ciencia y cultura*, 12(57), 29-33. <https://www.redalyc.org/pdf/294/29405704.pdf>
- Pando, A. (2019). *Determinación del Sulfuro de Hidrógeno y variables meteorológicas en el AA.HH. el Milagro del distrito de Independencia* [Tesis para obtener el título profesional de ingeniero ambiental, Universidad Tecnológica de Lima Sur]. <http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/163>
- Pico, E. (2022). *Historia de la industria pesquera y procesadora de atún en San Pablo de Manta - Ecuador* [Tesis de doctorado en historia y arqueología marítimas, Universidad de Cádiz]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=313494>
- Porta, A., Sánchez, Y. y Colman, E. (2018). *Calidad del aire: monitoreo y modelado de contaminantes atmosféricos: efectos en la salud pública*. Editorial de la Universidad de La Plata. https://notablesdelaciencia.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/136723/CONI CET_Digital_Nro.14856eb7-05bd-4812-a99e-50ed2b7552e4_V.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Ramírez, A. (2021). *La Industria Pesquera y sus Compromisos Ambientales por medio del Organismo de Inspección de Hidrosat y Medio Ambiente SAC - Colpex*

- International SAC – Chimbote* [Tesis para obtener el título de ingeniero pesquero, Universidad Nacional Federico Villarreal]. <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/4822>
- Reategui, W. (2018). *Estimación de la concentración de material particulado PM10 y PM2.5 en el área metropolitana de Lima utilizando un modelo euleriano* [Tesis de doctorado en ingeniería y ciencias ambientales, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3635>
- Resolución Ministerial N°112-2015-MINAM. (14 de mayo del 2015). Ministerio del Ambiente. Diario Oficial El Peruano. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2015/05/RM-N%C2%B0-112-2015-MINAM1.pdf>
- Román, J. (2015). *Telemetría de Estación Meteorológica*. ESPOL. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/31545>
- Santiago, M. (2023). *Tratamiento de efluentes e impacto en el medio ambiente en la planta pesquera Don Américo – Carquin 2022* [Tesis Para optar el Grado Académico de Maestro en Ecología y Gestión Ambiental, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/7801/Miguel%20Santiago%20-tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sullivan, L. (2009). *The SAGE Glossary of the Social and Behavioral Sciences* [El glosario SAGE de ciencias sociales y del comportamiento]. SAGE Publications.
- Tapara, E. (2015). *Determinación del impacto del material particulado pm-10 en la calidad del aire en el AA.HH. Túpac Amaru-Ate, Lima* [Tesis para optar por el título profesional de ingeniero ambiental, Universidad Alas Peruanas]. https://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12990/1481/Tesis_Determinaci%C3%B2n%20Impacto_Material%20Particulado%20PM10_Calidad%20de%20aire.pdf
- Tijero, B. (2022). *Tratamiento químico de los efluentes gaseosos (Sulfuro de Hidrógeno y Trimetilamina) de las plantas pesqueras y la reducción de su impacto ambiental en la ciudad de Pisco 2017* [Tesis de maestría en procesos químicos y ambientales, Universidad Nacional San Luis Ganoza]. <https://repositorio.unica.edu.pe/items/136700f3-a509-458c-8f9a-1c41bb266e26>

- Torres, L. (2011). *La contaminación atmosférica por emisiones de la industria pesquera y su relación con las enfermedades respiratorias en niños menores de 5 años, entre el 2005 al 2009, Chimbote* [Tesis de doctorado en planificación y gestión, Universidad Nacional de Trujillo]. <https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/8b49dfd3-5efa-45dd-8475-b31ef0f65fc1/content>
- Torres, R. (2022). *Emisiones de Dióxido de Azufre (SO₂): normas internacionales*. Asesoría Técnica Parlamentaria. [https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/33431/1/Normas Internacionales para las Emisiones de Dioxido de Azufre.pdf](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/33431/1/Normas_Internacionales_para_las_Emisiones_de_Dioxido_de_Azufre.pdf)
- Tribunal Constitucional del Perú. (14 de marzo de 2011). Sentencia de Expediente N°0004-2010-PI/TC. <http://www.nomos.pe/constitucional/Exp-00004-2010-AI-TC.pdf>
- Tribunal Constitucional del Perú. (19 de febrero de 2009). Sentencia de Expediente N°03343-2007-PA/TC. <https://www.tc.gob.pe/jurisprudencia/2009/03343-2007-AA.pdf>
- Ubilla, C. y Yohannessen, K. (2017). Contaminación Atmosférica: efectos en la salud respiratoria en el niño. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 28, 111-118. <https://doi.org/10.1016/j.rmcl.2016.12.003>
- Yassi, A., Kjellstrom, T., Dekok T. y Guidotti, T. (2002). *Salud Ambiental Básica* (versión al español realizada en el INHEM). Editorial PNUMA. <https://www.calameo.com/read/00105857752618e86ba99>

VI. ANEXOS

ANEXO 1. TABLAS DE CONCENTRACION SO₂, H₂S, PM₁₀, PM_{2.5}

1ra temporada de pesca anchoveta, inicio: 22.04.2025; termino: 22.07.2025	abril-mayo	CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE SO ₂	ECA SO ₂ (ug/m ³) - OMS
	2025-04-25	53.6	40
	2025-04-26	52.1	40
	2025-04-29	104.2	40
	2025-05-01	57.3	40
	2025-05-03	101.8	40
	2025-05-04	131.6	40
	2025-05-05	76.9	40
	2025-05-07	82.2	40
	2025-05-08	103.9	40
	2025-05-09	99.6	40
	2025-05-10	116	40
	2025-05-11	99.9	40
	2025-05-12	61.5	40
	2025-05-13	83.4	40
	2025-05-20	49.3	40
	2025-05-21	43.6	40
	2025-05-28	40.4	40
	n=17	79.84117647	

2da temporada de pesca anchoveta, inicio: 07.11.2025; termino: 20.01.2026	nov-dic	CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE SO ₂	ECA SO ₂ (ug/m ³) - OMS
	2025-11-15	41.12	40
	2025-11-16	58.93	40
	2025-11-17	75.52	40
	2025-11-18	133.07	40
	2025-11-19	133.3	40
	2025-11-20	70.51	40
	2025-11-22	89.83	40
	2025-11-23	81.67	40
	2025-11-24	49.96	40
	2025-12-04	46.2	40
	2025-12-05	59.9	40
	2025-12-06	40.9	40
	n=12	73.40916667	

MESES 2025-2026	CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE H₂S	ECA H₂S (ug/m³) - PERÚ	ECA H₂S (ug/m³) - OMS
enero	16.315	150	150
febrero	13.95238095	150	150
marzo	12.43870968	150	150
abril	6.692307692	150	150
mayo	8.563636364	150	150
junio	7.193333333	150	150
julio	6.283870968	150	150
agosto	4.838709677	150	150
setiembre	4.45	150	150
octubre	4.606666667	150	150
noviembre	7.664642857	150	150
diciembre	11.14193548	150	150
enero	9.403289171	150	150

MESES 2025-2026	CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE PM₁₀	ECA PM₁₀ (ug/m³) - Perú	PM₁₀ (45 ug/m³) - OMS	PM₁₀ (50 ug/m³) - UE
enero	8.230769231	100	45	50
febrero	14.95	100	45	50
marzo	20.8137931	100	45	50
abril	13.58148148	100	45	50
mayo	12.475	100	45	50
junio	13.54	100	45	50
julio	13.17096774	100	45	50
agosto	12.70967742	100	45	50
setiembre	12.92666667	100	45	50
octubre	11.83333333	100	45	50
noviembre	12.38	100	45	50
diciembre	15.96428571	100	45	50
enero	14.17214286	100	45	50

Marzo 2025	CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE PM_{2.5}	PM_{2.5} (15 ug/m³) - OMS
2025-03-10	20.6	15
2025-03-15	20.8	15
2025-03-16	19.9	15
2025-03-17	20.4	15
2025-03-18	23.6	15
2025-03-19	21	15
2025-03-20	20.7	15
2025-03-21	25.3	15
2025-03-22	21.8	15
2025-03-23	18.8	15
2025-03-24	19.4	15
2025-03-25	21.9	15
2025-03-26	18.2	15
2025-03-27	20.7	15
2025-03-28	16	15
n=15	20.61	

1ra temporada de pesca: 22 abril 2025 hasta 22 julio 2025	abril-julio	CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE PM_{2.5}	PM_{2.5} (15 ug/m³) - OMS
	2025-04-22	14.6	15
	2025-05-02	14.7	15
	2025-05-03	15.5	15
	2025-05-07	14.6	15
	2025-05-08	15.5	15
	2025-05-10	14.7	15
	2025-05-11	18.3	15
	2025-05-15	16.1	15
	2025-05-16	15.6	15
	2025-05-28	17.1	15
	2025-05-29	14.6	15
	2025-06-24	21.6	15
	2025-06-25	14.1	15
	2025-07-02	18.7	15
	2025-07-03	18.3	15
	2025-07-10	15.9	15
	2025-07-12	18	15
	2025-07-13	15.3	15
	2025-07-15	15.7	15
	2025-07-21	18.9	15
	n=20	16.39	

Nota. Estación de monitoreo de calidad del aire CA-01 CHIMBOTE, perteneciente al Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), ubicada en la I.E. Inca Garcilaso de la Vega N° 88011 de la Urb. El Trapecio del distrito de Chimbote

ANEXO 12. GRAFICOS OBTENIDOS DEL CENTRO DE VIGILANCIA AMBIENTAL DE LA OEFA UBICADA EN COLEGIO INCA GARCILASO D ELA VEGA

Figura 15.
Concentración de SO₂ durante el año 2025

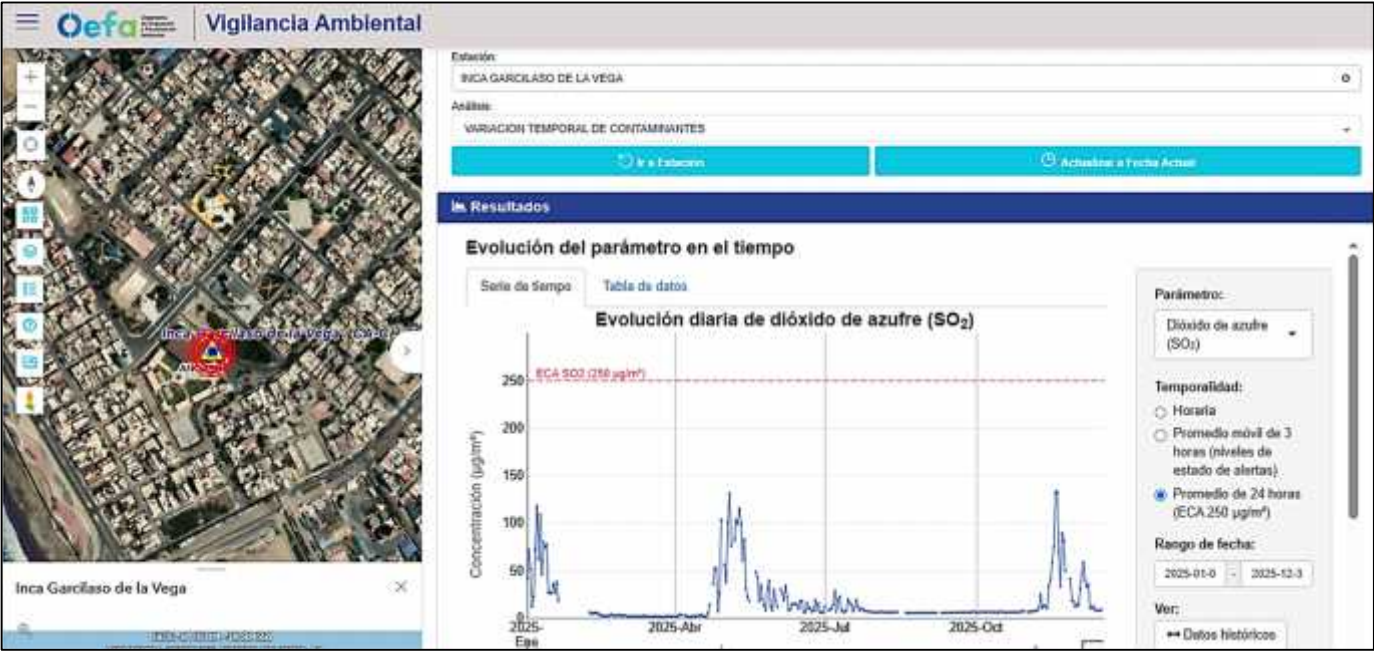


Figura 16.
Concentración de H₂S durante el año 2025

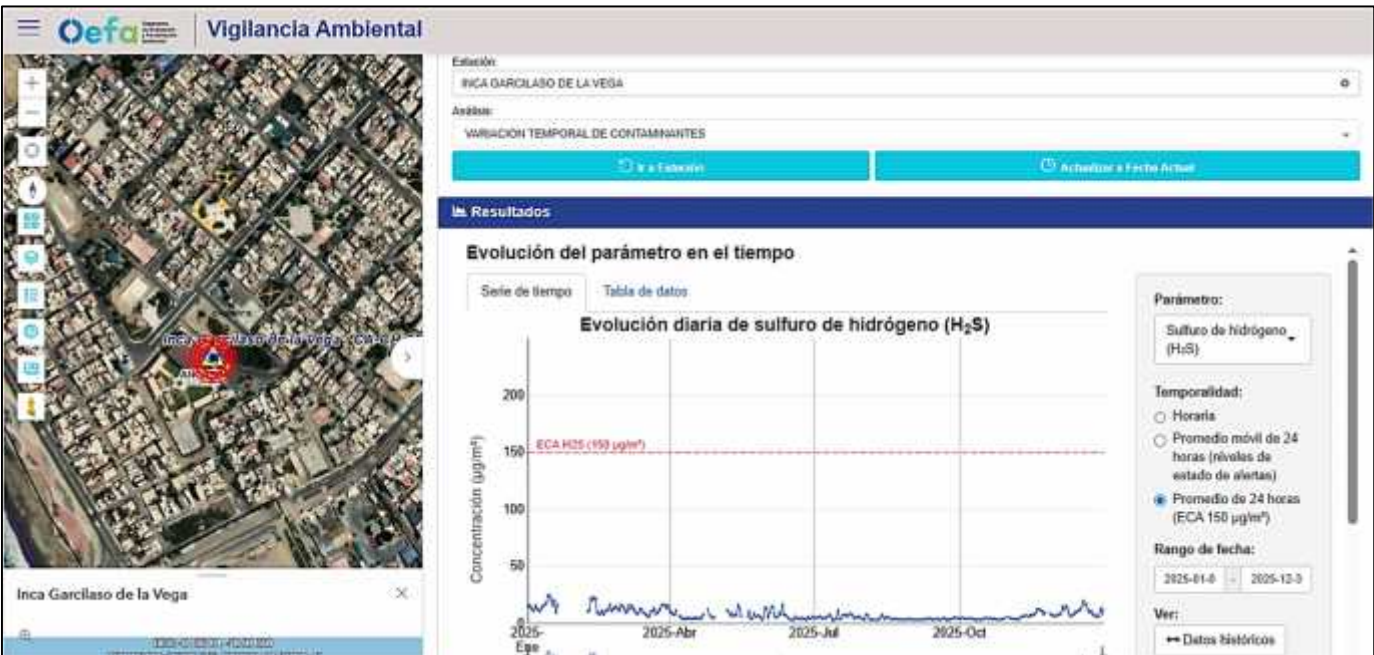


Figura 17.

Concentración de $PM_{2.5}$ durante el año 2025

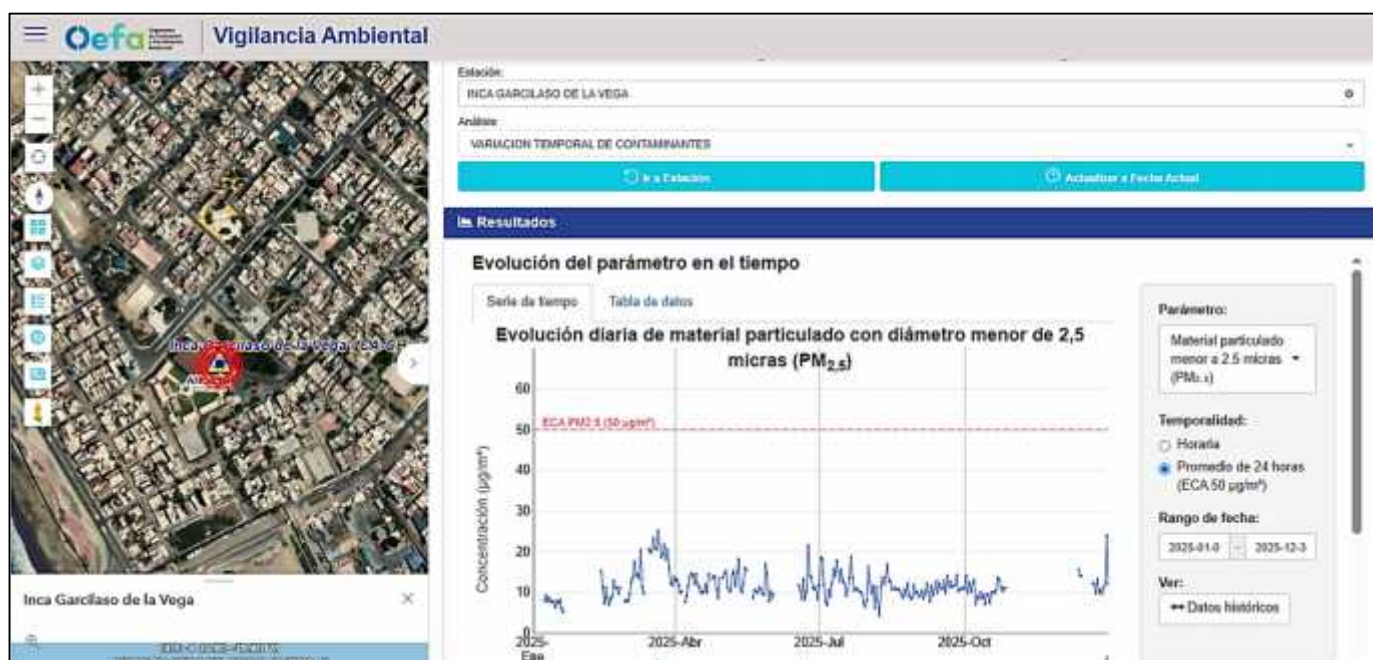


Figura 18.

Concentración de PM_{10} durante el año 2025

