

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



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

**Material particulado y sulfuro de hidrógeno y su relación con la
producción de harina residual en la planta pesquera Op7 &
BELL SAC, Nuevo Chimbote, Perú 2020 - 2025**

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

Autor:

Ing. Chávez Reyes, Máximo
Código ORCID: 0009-0001-1620-8303

Asesor:

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

Nuevo Chimbote - PERÚ
2026



CERTIFICACIÓN DE ASESORAMIENTO DEL ASESOR

Yo, **Moreno Rojo, Cesar**, mediante la presente certifico mi asesoramiento de la tesis de Maestría titulada: **“Material particulado y sulfuro de hidrógeno y su relación con la producción de harina residual en la planta pesquera Ope7 & Bell SAC, Nuevo Chimbote, Perú 2020-2025”**, elaborada por el **Bach. Máximo Chávez Reyes**, para obtener el Grado Académico de Maestro en Ciencias en Gestión Ambiental en la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa.

Dr. Moreno Rojo, Cesar

Asesor

DNI N°. 32907242

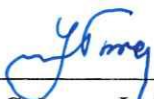
Código ORCID: 0000-0002-7143-4450



AVAL DE CONFORMIDAD DEL JURADO

Tesis de Maestría titulada: **“Material particulado y sulfuro de hidrógeno y su relación con la producción de harina residual en la planta pesquera Ope7 & Bell SAC, Nuevo Chimbote, Perú 2020-2025”**, elaborada por el Bach. Máximo Chávez Reyes,

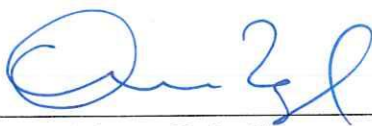
Revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador:



Dr. Torres Cabrera, Luis Fernando
Presidente
DNI N° 17909299
Código ORCID: 0000-0003-4662-5412



Dr. Sánchez Vaca, Daniel Ángel
Secretario
DNI N° 18146173
Código ORCID 0000-0003-4326-1852



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 veintiocho días del mes de mayo del año 2026, siendo las 11:00 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° 264-2026-EPG-UNS de fecha 06.04.2026, conformado por los docentes: Dr. Luis Fernando Torres Cabrera (Presidente), Dr. Daniel Ángel Sánchez Vaca (Secretario) y Dr. Cesar Moreno Rojo (Vocal); con la finalidad de evaluar la tesis intitulada: **"MATERIAL PARTICULADO Y SULFURO DE HIDROGENO Y SU RELACIÓN CON LA PRODUCCIÓN DE HARINA RESIDUAL EN LA PLANTA PESQUERA Op7 & BELL SAC, NUEVO CHIMBOTE, PERÚ 2020-2025"**; presentado por el tesista **Máximo Chávez Reyes**, egresado del programa de **Maestría en Gestión Ambiental**.

Sustentación autorizada mediante Resolución Directoral N° 392-2026-EPG-UNS de fecha 14 de mayo 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 Aprobado, asignándole la calificación de Decrocho.

Siendo las 12:10 horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando la presente acta en señal de conformidad.


Dr. Luis Fernando Torres Cabrera
Presidente


Dr. Daniel Ángel Sánchez Vaca
Secretario


Dr. Cesar Moreno Rojo
Vocal/Asesor

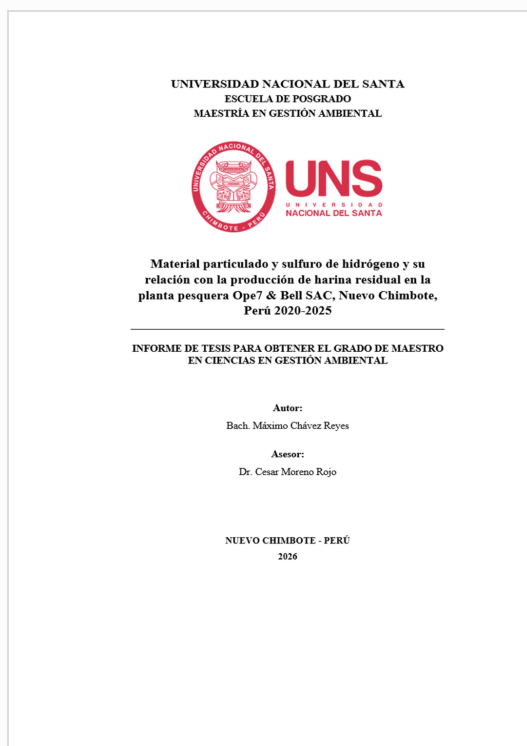


Recibo digital

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: MAXIMO CHAVEZ
Título del ejercicio: PTI MAXIMO
Título de la entrega: INFORME FINAL-MAXIMO
Nombre del archivo: INFORME_DE_TESIS_CHÁVEZ_-_17.06.2026_-_CORREGIDO_Turn...
Tamaño del archivo: 1,021.55K
Total páginas: 74
Total de palabras: 18,999
Total de caracteres: 106,229
Fecha de entrega: 14-jul-2026 06:39p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2998139982



INFORME FINAL-MAXIMO

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

9%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUD

FUENTES PRIMARIAS

1 cybertesis.unmsm.edu.pe

Fuente de Internet

2 infoaireperu.minam.gob.pe

Fuente de Internet

3 repositorio.unica.edu.pe

Fuente de Internet

4 Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

5 grepxa.mx

Fuente de Internet

6 dspace.ups.edu.ec

Fuente de Internet

7 es.slideshare.net

Fuente de Internet

8 repositorio.continental.edu.pe

Fuente de Internet

9 Submitted to Universidad TecMilenio

Trabajo del estudiante

10 es.scribd.com

Fuente de Internet

11 www2.congreso.gob.pe

Fuente de Internet

12 ECOLAB S.R.L.. "Actualización de PAMA de la Planta de Fabricación de Papel y Cartón-IGA0009757", R.D. N° 488-2016-PRODUCE/DVMYPE-I/DIGGAM, 2020

Publicación

13 repositorio.ucundinamarca.edu.co

Fuente de Internet

14 repositorio.uct.edu.pe

Fuente de Internet

repositorio.uns.edu.pe

DEDICATORIA

A mi padre desde el cielo guiándome y a mi madre por ser el fundamento y la inspiración constante a lo largo de este camino académico. A mi esposa y mis hijos por su apoyo incondicional, su confianza y sus palabras de aliento han sido una guía permanente en los momentos de mayor exigencia y también en aquellos en los que el cansancio y las dificultades parecían imponerse y a mis hermanos por sus sabios consejos en el día a día.

Máximo Chávez Reyes

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida y la salud para consolidar una de mis metas deseadas, a mi esposa Noemí e hijos Victoria Valentina y Fabián Salvador por guiarme en el camino de lo prudente y darme sabiduría para mejorar día a día mi quehacer profesional.

A mi asesor de tesis, Dr. Ing. Cesar Moreno Rojo, que gracias a su paciencia y constante apoyo posibilitó la culminación de mi estudio

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DEL ASESOR	ii
AVAL DE CONFORMIDAD DEL JURADO.....	iii
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	13
1.2. OBJETIVOS	18
1.3. HIPÓTESIS	19
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	19
II. MARCO TEÓRICO	21
2.1. ANTECEDENTES	21
2.2. MACO REFERENCIAL	26
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	41
III. METODOLOGÍA.....	47
3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	47
3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	47
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	47
3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	48
3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	48
3.6. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	49
3.7. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	49
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	50
4.1. RESULTADOS	50

4.2. DISCUSIÓN	69
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
5.1. CONCLUSIONES	74
5.2. RECOMENDACIONES.....	75
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
VII. ANEXOS.....	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Evolución de las emisiones globales de CO ₂ procedentes de combustibles fósiles entre el 2008 y el 2022	14
Tabla 2. Perú: Producción de harina de pescado (toneladas métricas brutas) según puerto, 2013-2019.....	17
Tabla 3. Perú: Valores del INCA.....	28
Tabla 4. Perú: Calificación del estado de la calidad del aire	29
Tabla 5. Perú: Índice de Calidad de Aire para PM ₁₀	31
Tabla 6. Perú: Índice de Calidad de Aire para PM _{2.5}	32
Tabla 7. Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S) según dónde se encuentra en el ambiente.....	35
Tabla 8. Perú: Índice de Calidad de Aire para sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)	36
Tabla 9. Efectos en la salud por exposición al sulfuro de hidrógeno (H ₂ S).....	38
Tabla 10. Límites Máximos Permisibles para las emisiones de la industria de harina y aceite de pescado y harina de residuos hidrobiológicos	40
Tabla 11. Matriz de operacionalización de variables	48
Tabla 12. Producción de harina de pescado residual y concentración de material particulado y sulfuro de hidrógeno en la empresa OPE7 & BELL SAC, periodo 2020-2025	63
Tabla 13. Prueba de normalidad para producción de harina (TM) y material particulado (MP).....	65
Tabla 14. Correlaciones entre producción de harina (TM) y material particulado (MP).....	65
Tabla 15. Prueba de normalidad para producción de harina (TM) y sulfuro de hidrógeno (H ₂ S).....	66
Tabla 16. Correlaciones entre producción de harina (TM) y sulfuro de hidrógeno (H ₂ S).....	67
Tabla 17. Matriz de estrategias para mitigar las emisiones y mejorar el proceso productivo de harina de pescado.....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de las fuentes de generación de PM.....	33
Figura 2. Flujograma del proceso de elaboración de harina residual	55
Figura 3. Concentraciones de material particulado y sulfuro de hidrógeno para tres etapas críticas del proceso de harina de pescado en la Planta OP7 & BELL SAC - Periodo 2020 I-II.....	56
Figura 4. Concentraciones de material particulado y sulfuro de hidrógeno para tres etapas críticas del proceso de harina de pescado en la Planta OP7 & BELL SAC - Periodo 2021 I-II.....	56
Figura 5. Concentraciones de material particulado y sulfuro de hidrógeno para tres etapas críticas del proceso de harina de pescado en la Planta OP7 & BELL SAC - Periodo 2022 I-II.....	57
Figura 6. Concentraciones de material particulado y sulfuro de hidrógeno para tres etapas críticas del proceso de harina de pescado en la Planta OP7 & BELL SAC - Periodo 2023 I-II.....	58
Figura 7. Concentraciones de material particulado y sulfuro de hidrógeno para tres etapas críticas del proceso de harina de pescado en la Planta OP7 & BELL SAC - Periodo 2024 I-II.....	59
Figura 8. Concentraciones de material particulado y sulfuro de hidrógeno para tres etapas críticas del proceso de harina de pescado en la Planta OP7 & BELL SAC - Periodo 2025 I-II.....	60
Figura 9. Concentraciones de material particulado (MP) para tres etapas críticas del proceso de harina de pescado en la Planta OP7 & BELL SAC - Periodos 2020-2025, semestres I y II.....	61
Figura 10. Concentraciones de sulfuro de hidrogeno (H_2S) para tres etapas críticas del proceso de harina de pescado en la Planta OP7 & BELL SAC - Periodos 2021-2025, semestres I y II.....	62
Figura 11. Relación entre la producción de harina de pescado y las concentraciones de material particulado y sulfuro de hidrógeno, periodo 2020-2025	64

RESUMEN

El presente estudio planteó como objetivo general determinar la relación del material particulado y el sulfuro de hidrógeno con la producción de harina residual en la planta pesquera OP7 & BELL SAC, Nuevo Chimbote. La investigación se realizó con un diseño no experimental, en un nivel descriptivo y con enfoque correlacional, empleando los métodos inductivo y deductivo y las técnicas de observación y análisis documental, elaborándose un diagrama de operaciones completo del proceso productivo y realizándose mediciones por semestres en los tres puntos establecidos de la empresa pesquera OP7 & BELL SAC: planta de agua de cola, molino seco y enfriador de harina.

Los principales resultados obtenidos fueron que las concentraciones de material particulado y sulfuro de hidrógeno en la empresa se mantienen por debajo de los límites máximos permisibles, y que existe una correlación negativa moderada para el material particulado y una correlación positiva moderada para el sulfuro de hidrógeno respecto a la producción de harina de pescado, pero sin alcanzar niveles de significancia. Finalmente, se concluyó que no existe una relación estadística directa entre el volumen de producción de harina residual y el aumento de las concentraciones de material particulado y sulfuro de hidrógeno en la planta OP7 & BELL SAC.

Palabras clave: Material particulado, sulfuro de hidrógeno, industria pesquera, harina residual, salud ocupacional.

ABSTRACT

The general objective of this study was to determine the relationship between particulate matter and hydrogen sulfide and the production of fishmeal residue at the OPE7 & BELL SAC fish processing plant in Chimbote. The research employed a non-experimental, descriptive, and correlational design, utilizing inductive and deductive reasoning, as well as observation and document analysis techniques. A complete operational diagram of the production process was developed, and measurements were taken every six months at three designated points within the OPE7 & BELL SAC fish processing plant: the tailings water plant, the dry mill, and the fishmeal cooler.

The main findings indicated that particulate matter and hydrogen sulfide concentrations at the plant remain below the maximum permissible limits. A moderate negative correlation was observed between particulate matter and hydrogen sulfide concentrations and fishmeal production, but neither correlation reached statistical significance. Finally, it was concluded that there is no direct statistical relationship between the volume of fishmeal production and the increase in particulate matter and hydrogen sulfide concentrations at the OPE7 & BELL SAC plant.

Keywords: Particulate matter, hydrogen sulfide, fishing industry, fish meal waste, occupational health.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La contaminación del aire o contaminación atmosférica constituye un problema latente en nuestra sociedad. El inevitable desarrollo económico del ser humano, más allá de los múltiples beneficios que genera, es una peligrosa arma de doble filo, por cuanto el incremento de los procesos industriales, agroindustriales y los servicios en general, aunado a las prácticas inapropiadas y la incipiente supervisión estatal, han propiciado la generación de un volumen elevado de contaminantes atmosféricos (Romero, Diego y Álvarez, 2006).

Dichos contaminantes vienen mostrando efectos perniciosos para la salud humana, los recursos materiales y el ecosistema en general. La contaminación atmosférica es una realidad presente en todo el mundo, aunque es fácil notar que los grupos poblacionales que viven en las ciudades más desarrolladas son los que están más expuestos a las fuentes fijas y móviles de contaminantes atmosféricos.

Para entender a cabalidad la realidad genérica de la contaminación atmosférica, es necesario remitirnos antes a la esencia de la contaminación ambiental. Esta es definida como “la modificación indeseable del ambiente, causada por la introducción a este de agentes físicos, químicos o biológicos (contaminantes) en cantidades superiores a las naturales, que resulta nociva para la salud humana, daña los recursos naturales o altera el equilibrio ecológico” (Romero, Diego y Álvarez, 2006, p. 2).

Entiéndase que la contaminación atmosférica o contaminación del aire es, consecuentemente, una de las formas principales de contaminación ambiental, explicada por Yassi, Kjellstrom, Dekok y Guidotti (2002) como la emisión de sustancias peligrosas (contaminantes) a la atmósfera, en una proporción mayor a las capacidades de los procesos naturales de la atmósfera, de modo que estos se ven perjudicialmente transformados, precipitados o diluidos a través del movimiento del aire.

Los principales contaminantes de la atmósfera son la presencia de partículas, monóxido de carbono, óxidos de azufre, nitrógeno y otros oxidantes fotoquímicos, especialmente en las áreas urbanas. Empero, para aclarar el panorama es necesario mencionar que los contaminantes del aire pueden clasificarse según diversos criterios.

Al respecto, Flores, López y Albert (1995) mencionan que, en base a su fuente, los contaminantes pueden ser naturales (v.g. polvo de materias biológicas) o antropogénicos

(v.g. procesos industriales de todo tipo, vehículos a motor); en atención a su origen, pueden ser primarios (se emiten directamente a la atmósfera, v.g. el SO₂) o secundarios (se forman de manera mediata a través de procesos químicos atmosféricos, v.g. H₂SO₄); por su forma física usualmente son gases (v.g. dióxido de carbono, monóxido de carbono, ozono) o, en menor medida, aerosoles que se presentan en forma líquida e incluso sólida. Cabe precisar que los contaminantes antropogénicos pueden ser móviles, tales como automóviles, aviones y barcos, o fijos, como las chimeneas industriales, los incineradores de basura, etc.

El informe estadístico elaborado por *Global Carbon Project* en el año 2022 muestra una realidad alarmante en cuanto a las emisiones globales de CO₂ (dióxido de carbono) provenientes de combustibles fósiles (principalmente, carbón, petróleo, gas y cemento) en los últimos quince años, lo cual ha causado notables perjuicios en la atmósfera. Dicha información se plasma en la siguiente tabla:

Tabla 1. *Evolución de las emisiones globales de CO₂ procedentes de combustibles fósiles entre el 2008 y el 2022*

Año	Toneladas de CO ₂ (millones)
2008	31,572.69
2009	31,024.32
2010	32,790.83
2011	33,866.09
2012	34,360.07
2013	34,641.85
2014	34,869.96
2015	34,843.39
2016	34,798.56
2017	35,353.22
2018	36,058.15
2019	36,298.46
2020	34,455.94

2021	36,281.88
2022	36,642.83

Fuente: *Global Carbon Project*, 2022.

Cabe mencionar que la contaminación ambiental, desde inicios del siglo pasado, ha sido objeto de múltiples convenios y regulaciones supranacionales. En ese contexto, como parte de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) propuestos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), identificamos que al menos siete de los diecisiete ODS se relacionan directamente con la contaminación ambiental. Estos son: el ODS 6 (agua limpia y saneamiento), el ODS 7 (energía asequible y no contaminante), el ODS 11 (ciudades y comunidades sostenibles), el ODS 12 (producción y consumo responsables), el ODS 13 (acción por el clima), el ODS 14 (vida submarina) y el ODS 15 (vida de ecosistemas terrestres).

En nuestro país, la industria pesquera –en particular la dedicada a la producción de harina y aceite de pescado– y la automovilística se caracterizan por ser las principales fuentes de contaminación por emisiones, especialmente debido al antiguo esquema legal nacional sobre la actividad productiva, propia del neoliberalismo emergente, en el cual el Estado priorizó los componentes económicos y sociales antes que el medio ambiente y la salud pública. Según estadísticas de la *World Air Quality Report 2021*, realizado por la firma privada IQAir, el Perú tuvo la más baja calidad de aire a nivel de América Latina, presentando 29.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (entiéndase respecto a la existencia de material particulado PM2.5); teniéndose en cuenta que, por ejemplo, países como Chile (21.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), México (19.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y Colombia (14.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) presentan menor concentración y, por lo tanto, mejor calidad de aire.

El Perú es reconocido a nivel mundial no solamente como uno de los países mineros por excelencia, sino también como un país con una industria pesquera sobresaliente y exitosa, especialmente debido al boom pesquero gestado desde mediados del siglo pasado y a la inmensa biodiversidad marina existente en nuestro mar. La pesca constituye una actividad económica extractiva que ha generado miles de puestos de trabajo en nuestro país y ha propiciado un crecimiento económico notable; no obstante, como cualquier otra actividad, la pesca no está exenta de ocasionar un impacto negativo en el medio ambiente, tales como la contaminación del agua, el suelo y la atmósfera, así como la excesiva explotación de los recursos hidrobiológicos (Contreras, 2011).

Una de las ciudades que históricamente se ha ganado un nombre en la industria pesquera a nivel mundial es, sin duda, Chimbote. Junto a Paíta y el Callao, la ciudad de Chimbote se caracteriza por ser una de las circunscripciones político-territoriales más importantes y productivas del Perú en cuanto a la industria de la pesca, a tal punto que es conocida desde hace décadas como la “Capital de la Pesca y el Acero”. El boom pesquero de los años 50 afloró principalmente en Chimbote, donde paulatinamente se fueron construyendo fábricas pesqueras –por lo general, para el tratamiento de harina y aceite de pescado– y se fue extendiendo la pesca artesanal e industrial.

Sin embargo, la industrialización de la ciudad porteña trajo consigo, a partir de los años 60, un creciente registro de contaminación ambiental, con especial incidencia en el mar y el aire, a tal punto que hoy en día las fábricas asociadas a la industria pesquera constituyen la fuente principal de contaminación en Chimbote, generando efectos notorios como la pérdida de biodiversidad en las aguas y los hediondos olores a causa de la emanación de las chimeneas (Kuramoto, 2005).

En efecto, puede afirmarse que los gases y partículas que emiten las fábricas pesqueras son los principales contaminantes de la atmósfera chimbotana. Al respecto, Contreras (2011) refiere que, para la producción de harina de pescado, “se utilizan procesos de secado, y 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). Sobre el particular, es pertinente mostrar el análisis estadístico elaborado por el Ministerio de la Producción en el año 2020, en el cual se comparó la producción de harina de pescado en los principales puertos del Perú, en el periodo comprendido entre el 2014 y el 2019, evidenciándose que el puerto de Chimbote es el que produce mayor cantidad de toneladas métricas brutas de harina de pescado:

Tabla 2. *Perú: Producción de harina de pescado (toneladas métricas brutas) según puerto, 2013-2019*

Puerto	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Chimbote	259 407	59 660	103 540	134 010	128 324	342 717	194 893
Callao	101 955	71 266	97 715	54 397	74 817	115 603	51 762
Chicama	173 150	62 834	63 342	106 696	160 903	278 335	190 646
Coishco	55 781	9 621	45 431	69 967	44 087	91 862	33 162
Pisco	87 383	77 561	162 431	54 058	109 543	91 886	63 066

Fuente: Ministerio de Producción, 2020.

La actividad industrial relacionada a la producción de harina de pescado y otros afines, según la Agencia de Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades de los Estados Unidos (2014), produce diversas sustancias tóxicas entre las que resalta el ácido sulfhídrico o sulfuro de hidrógeno (H_2S), el cual permanece en la atmósfera aproximadamente entre 1 y 42 días. Asimismo, Buitrago y Tejeiro (2019) destacan que la actividad de las fábricas pesqueras origina grandes cantidades de material particulado (MP), también denominados partículas en suspensión, el cual es uno de los principales contaminantes del aire.

La contaminación atmosférica producida por la actividad industrial consistente en la fabricación de harina y aceite de pescado no ha sido inobservada por las entidades internacionales y, por supuesto, nuestro gobierno. Al respecto, un punto a subrayar es la paulatina integración del componente ambiental en las industrias pesqueras, en búsqueda del desarrollo sostenible, lo cual ha sido significativo para la mejora en la política ambiental sectorial, de la mano del Ministerio de la Producción - PRODUCE y en coordinación con el Ministerio del Ambiente – MINAM, existiendo marcos normativos específicos cuya finalidad es mitigar las emisiones perniciosas para el medio ambiente.

En ese sentido, mediante el Decreto Supremo N°011-2009-MINAM, de fecha 16 de mayo del 2009, se aprueban los Límites Máximos Permisibles (LMP) para las emisiones de la industria de harina y aceite de pescado y harina de residuos hidrobiológicos en nuestro país. Teniendo en cuenta la peligrosidad del H_2S y el MP, en dicha normativa el Estado

ha establecido que el LMP para el sulfuro de hidrógeno es de 5 mg/m³, mientras que el LMP para el material particulado es de 150 mg/m³.

En base a todo lo detallado anteriormente, se ha elegido a la planta pesquera OPE7 & BELL SAC - Nuevo Chimbote, dedicada a la producción de harina de pescado, aceite de pescado y conservas de pescado y ubicada en la Calle 3, Mz. Lote 1A ZI del sector Gran Trapecio del distrito de Chimbote, Ancash, Perú; a efectos de monitorear la emisiones de sulfuro de hidrógeno y material particulado y compararlo con la normativa vigente que regula los límites máximos permisibles (Decreto Supremo N°011-2009-MINAM), para posteriormente elaborar medidas de control que permitan mitigar y/o prevenir las emisiones excedentes.

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 relación que existe entre el material particulado y sulfuro de hidrógeno y la producción de harina residual en la planta pesquera OPE7 & BELL SAC - Chimbote, Perú 2020-2025 para prevenir y/o mitigar el exceso en su emisión?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

Determinar la relación del material particulado y el sulfuro de hidrógeno y la producción de harina residual en la planta pesquera OP7 & BELL SAC - Chimbote.

1.2.2. Objetivos específicos

- a) Realizar un diagnóstico del proceso productivo de harina residual que desarrolla la planta pesquera OP7 & BELL SAC, identificando las etapas más contaminantes.
- b) Medir la concentración de material particulado y sulfuro de hidrógeno en el molino seco, la evaporadora de agua de cola y el enfriador de harina de pescado de la planta pesquera OP7 & BELL SAC, en el periodo comprendido entre los años 2020 y 2025.
- c) Comparar estadísticamente los niveles de material particulado y sulfuro de hidrógeno con la producción de harina residual en la planta pesquera OP7 & BELL SAC.

- d) Proponer estrategias para mejorar el proceso productivo y reducir las emisiones de material particulado y sulfuro de hidrógeno.

1.3. HIPÓTESIS

A modo de respuesta ante el problema, formulado en sentido interrogativo, se planteó la siguiente hipótesis: Existe una relación positiva en el aumento de material particulado y sulfuro de hidrógeno con la producción de harina residual en la planta pesquera OP7 & BELL SAC - Chimbote.

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

En el rubro de la industria pesquera, la realización constante de monitoreos ambientales es sumamente importante, por cuanto permite determinar los niveles concernientes a los contaminantes emitidos por la planta pesquera y, por consiguiente, evaluar si se encuentran ajustados a los parámetros establecidos por la normativa nacional e internacional. Específicamente en el proceso de elaboración de harina residual de pescado, dos de los principales contaminantes que se emiten hacia la atmósfera son el sulfuro de hidrógeno (H_2S) y el material particulado (MP). Es crucial conocer cuáles son los niveles de sulfuro de hidrógeno (H_2S) y material particulado (MP) que emite una planta pesquera en un periodo determinado, pues ello nos permitirá tener conocimiento objetivo sobre la realidad problemática y, en ese sentido, realizar posibles ajustes tanto en las frecuencias de monitoreo como en la implementación de equipos que garanticen el equilibrio de la concentración de dichos parámetros en la planta pesquera, entre otras medidas, mitigando así la contaminación atmosférica y regularizando la actividad de la empresa a la normativa nacional.

La justificación práctica y social de la presente investigación reside en que, a través de la evaluación de los niveles de material particulado y sulfuro de hidrógeno de la planta pesquera OP7 & BELL SAC entre los años 2020 y 2025, su posterior comparación con los parámetros establecidos en el Decreto Supremo N°011-2009-MINAM y la elaboración de medidas de control para mitigar y/o prevenir los excesos, se establecerán nuevas estrategias y procedimientos, métodos de muestreo y métodos de análisis de las emisiones atmosféricas de la actividad pesquera respecto al sulfuro de hidrógeno (H_2S) y el material particulado (MP), elaborando medidas que permitan a la empresa rediseñar e implementar sus programas de monitoreo de emisiones en los tres puntos seleccionados

de la planta pesquera (planta de agua de cola, molino seco y enfriador de harina). De esta manera, se contribuirá de forma paralela a mejorar la eficiencia productiva de la empresa OP7 & BELL SAC (por ejemplo, optimizando el uso de materia prima y energía) y su desempeño ambiental (por ejemplo, reduciendo la generación de emisiones atmosféricas), lo cual tendrá beneficios a nivel económico y social.

El aporte metodológico de la presente investigación descriptiva radica en que servirá de pilar para el desarrollo de posteriores trabajos focalizados en distintos niveles de investigación, relacionados con la variación de los niveles de material particulado y sulfuro de hidrógeno (H₂S) provenientes del procesamiento de la harina residual de pescado en la planta pesquera OP7 & BELL SAC – Chimbote, así como su acoplamiento a los parámetros establecidos mediante Decreto Supremo N°011-2009-MINAM y la implementación de posibles mecanismos de solución ante esta problemática; todo ello a través de la recopilación de datos a partir de los informes de ensayo de los monitoreos de la antes mencionada planta pesquera entre los años 2018 y 2023 y la elaboración de medidas de control para mitigar y/o prevenir los excesos en la emisión de material particulado y sulfuro de hidrógeno.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

En cuanto a los estudios realizados sobre el objeto de estudio, se tiene en primer lugar a Galarreta (2019), quien 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”, se planteó como objetivo determinar la concentración de H₂S y PM₁₀ en el aire, en los días de pesca en tres distritos de la Provincia del Santa (Coishco, Chimbote y Nuevo Chimbote). Los resultados de valor máximo (7.84 µg/m³) de SH₂ y de valor máximo (47.3 µg/m³) de PM₁₀, comparados con los establecidos en los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del aire, se encuentran por debajo de los límites máximos permitidos, concluyendo que, como contaminantes ambientales, no representan ningún peligro para la salud.

Asimismo, 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”, tuvo como objetivo determinar la calidad de aire y ruido ambiental realizado por Hidrosat y Medio Ambiente SAC, durante el primer y segundo semestre de los años 2016, 2017 y 2018, en COLPEX INTERNATIONAL SAC. El autor pudo determinar que el material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM₁₀), se encontraba entre 10,08 µg/m³ a 71,72 µg/m³ y el sulfuro de hidrogeno (H₂S) se encontraba entre 2,08 µg/m³ y 2,40 µg/m³, siendo ambos valores dentro de los Estándares de Calidad Ambiental establecidos por el D.S. N°074-2001-PCM y el D.S. N° 003-2008-MINAM.

De igual forma, 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”, investiga la neutralización de los malos olores de los humos y vapores del proceso de secado de la harina de pescado, tratándose muestras de aire tomadas en una planta harinera conteniendo sulfuro de hidrógeno (H₂S) y trimetilamina (TMA), las mismas que se han tratado con hipoclorito de calcio y con hidróxido de calcio de manera sucesiva para neutralizarlos, puesto que estos contaminantes ocasionan un riesgo ambientales. El autor concluye que la neutralización originó una reducción

considerable de ambos contaminantes de 14,05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hasta 0,55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el sulfuro de hidrógeno y 46,09 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hasta 1,86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para la trimetilamina.

Además, Alvarado (2020), en su tesis para obtener el título de ingeniero ambiental, titulada “Estudio comparativo de material particulado sedimentable y volátil, de los sectores Calpi y el barrio Los Pinos del cantón Riobamba”, tuvo como objetivo el análisis comparativo del material particulado sedimentable y volátil de los sectores Calpi y el barrio Los Pinos del cantón de Riobamba. El resultado indica que en Calpi los PM no sobrepasan los límites máximos permitidos, pero en Los Pinos ello sí ha ocurrido. Además, los PMV2.5 y PMV10 en Calpi cumplen con los límites máximos permitidos, por el contrario, en Los Pinos el PMV2.5 no cumple estas normativas y el PMV10 sí las cumple; concluyéndose que en Los Pinos los PMS no cumplen con los límites máximos permitidos, lo cual sí sucede en Calpi.

En sentido similar, Arteaga (2018), en su tesis de maestría en ingeniería ambiental, titulada “Determinación de las fuentes de emisión del material particulado en el Valle del Mantaro mediante el análisis de componentes principales (ACP)”, se planteó como fin determinar la composición química elemental del material particulado recolectado en Jauja, Concepción y Huancayo. El autor evidenció que las principales fuentes de PM10 y PM2.5 en Huancayo y Concepción son el polvo suspendido del suelo y el tráfico de autos, mientras que en Jauja las principales fuentes de PM2.5 son pirometalúrgicas y cerámicas y para el PM10 son el polvo del suelo y la quema de biomasa; concluyendo que el análisis de componentes principales permitió determinar los diferentes elementos contaminantes por material particulado en las 3 ciudades del Valle del Mantaro.

Bajo la misma línea, Barrientos (2021), en su tesis para optar por el título de ingeniero ambiental y sanitario, denominada “Evaluación de la calidad del aire por la emisión de material particulado en la construcción de pistas y veredas del jirón Odonovan - Huancavelica, 2021”, tuvo como objetivo evaluar la calidad del aire, dada la emisión de material particulado, en la construcción de pistas y veredas del jirón Odonovan – Huancavelica en el año 2021. El autor demuestra que los resultados de PM10 y PM2.5 superan los estándares de calidad ambiental, la calidad de aire global del PM10 fue moderado y el PM2.5 y el AQI global no fue saludable para los grupos sensibles. Por consiguiente, concluye que la calidad del aire del Jirón Odonovan es tolerable pero no es buena para quienes son muy susceptibles.

Benites y García (2020), en su tesis para obtener el título profesional de ingeniero ambiental, titulada “Evaluación de la calidad de aire por CO y H₂S en las intersecciones con mayor flujo vehicular del Sector Cercado, en la ciudad de Tarapoto para implementar un plan de monitoreo y control como propuesta de gestión para la municipalidad provincial de San Martín”, plantearon como objetivo evaluar la calidad de aire en términos de CO y H₂S en las intersecciones con mayor flujo vehicular del Sector Cercado en Tarapoto. Los resultados determinan que la concentración de CO y H₂S no sobrepasaron el valor indicado en el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, concluyéndose que la calidad de aire de las intersecciones con mayor flujo vehicular del Sector Cercado es buena y permisible para la calidad de vida y conservación del ambiente.

También, 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” evaluaron los niveles de concentración de CO, CO₂ y H₂S del aire en diferentes zonas del distrito de Alto Selva Alegre. Los resultados mostraron que hay mayor concentración de monóxido de carbono en el cruce puente Chilina-Cayma, en la Av. Brasil hay mayor concentración de CO₂, y en el cruce de puente Chilina-Cayma hay mayor concentración de H₂S. El autor 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.

Asimismo, Canturin (2019), en su tesis para obtener el título profesional de ingeniero ambiental, titulada “Concentración de material particulado respirable (PM₁₀) en Av. Nauta – Callao”, tuvo como objetivo determinar la concentración de material particulado Respirable (PM₁₀) presente en la Av. Nauta – Callao. Los resultados del valor de PM₁₀ muestreado fue de 14.89 ug/m³, comparado con los ECAs de aire establecidos en el D.S N°003-2017-MINAM, se determinó como un estado bueno de la calidad del aire, concluyéndose que la concentración de PM₁₀ en el monitoreo en la Av. Nauta - Callao fue baja con respecto a los estudios de monitoreo previo realizados por DIGESA y DIRESA en el año 2011.

De igual forma, 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”, tuvo como objetivo evaluar la calidad del aire por la emisión de material en la comunidad de Sacsamarca. Los

resultados de PM10 y PM2.5 superan los ECA para material suspendido fino, la calidad de aire global del PM10 fue moderado, mientras que el PM2.5 y el AQI global fueron NO saludables para grupos sensibles. Se concluye que la calidad del aire que se respira por la emisión de PM10 y PM2.5 no es buena; posee una escala moderada, no salubre e insalubre, indicando que el aire es tolerable, pero para una cantidad de personas sensibles podría ser dañino.

En sentido similar, De La Cruz (2021), en su tesis para obtener el título profesional de ingeniero ambiental, titulada “Material particulado (PM10 y PM2.5) para el Análisis de riesgos en la salud de comerciantes del mercado III Huaico Tarapoto – 2020”, planteó como objetivo determinar la concentración de PM10 y PM2.5 para el análisis de riesgos en la salud de comerciantes del mercado III Huayco. Los resultados determinaron que la concentración de material suspendido PM10 y PM2.5 no superan los ECA, concluyendo que las características del material particulado generado en el mercado III Huayco son de dos diámetros, 10 y 2.5 micras, pero su concentración como partículas suspendidas respirables es bajo y no superan lo establecido en la normativa nacional.

Además, Díaz (2019), en su tesis para para obtener el título profesional de ingeniero ambiental, llamada “Niveles de concentración de PM10, NO2, SO2, H2S, CO y variables meteorológicas en la zona industrial de Villa El Salvador”, tuvo como objetivo determinar las concentraciones de PM10, gases contaminantes (NO2, SO2, H2S y CO) y el comportamiento de las variables meteorológicas en la zona industrial de Villa El Salvador; teniendo como resultados que el PM10 excedió los LMP, pero el NO2, SO2, H2S y CO estuvieron por debajo del LMP del ECA para aire, aprobado mediante el D.S. N°003-2017-MINAM. 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 del D.S. N°003-2017- MINAM.

También, García (2020), en su tesis para obtener el título profesional de ingeniero ambiental, titulada “Determinación de la calidad del ambiente, mediante el monitoreo ambiental en la zona de concesión de Electro Tocache - 2019”, estableció como objetivo determinar la calidad del ambiente, mediante el monitoreo ambiental, en la zona de concesión de Electro Tocache - 2019. Los resultados mostraron que las concentraciones registradas no exceden los ECA, pero en calidad de ruido ambiental exceden lo establecido y con respecto a las radiaciones no ionizantes no exceden, concluyéndose que

el PM10 y los resultados de CO, SO₂, NO₂ y H₂S registran concentraciones por debajo del ECA para aire, cumpliendo lo establecido en el D.S. N° 003-2017-MINAM.

Bajo el mismo orden de ideas, Gavilanes (2018), en su tesis para obtener el título profesional de ingeniero en biotecnología ambiental, denominada “Evaluación del material particulado de las terminales terrestres intercantonales e interprovincial de la ciudad de Riobamba”, tuvieron como fin evaluar el material particulado de las terminales terrestres intercantonales e interprovincial de la ciudad de Riobamba. Los resultados muestran que ninguna de las terminales excedió los LMP para PM10 y PM2.5, existiendo diferencias significativas entre sus concentraciones, concluyendo que las concentraciones de PM10 y PM2.5 registradas no sobrepasaron los LMP establecidos y que existe una correlación entre el número de carros y las concentraciones.

En la misma línea, Gutiérrez (2020), en su tesis para obtener el título profesional de ingeniero en medio ambiente, titulada “Evaluación de la calidad del aire mediante el monitoreo del material particulado pm10 y pm2.5 en el centro urbano del cantón Saquisilí, provincia de Cotopaxi, periodo 2019 – 2020”, se planteó como objetivo evaluar la concentración de material particulado PM10 y PM2.5 generado por las fuentes antropogénicas en el centro urbano del cantón Saquisilí. Los resultados obtenidos del monitoreo se encuentran dentro de los LMP para PM10 y PM2.5, concluyendo que los resultados del monitoreo de PM10 y PM2.5 está por debajo de los LMP según la normativa vigente, pero al existir estas concentraciones de contaminantes las personas ya no respiran un aire puro.

Del mismo modo, Pando (2019), en su tesis para obtener el título profesional de ingeniero ambiental, titulada “Determinación del sulfuro de hidrógeno y variables meteorológicas en el AA.HH. el Milagro del distrito de Independencia”, tuvo como objetivo determinar la concentración de sulfuro de hidrógeno emitido por el Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente del CITRAR UNI. Los resultados determinan que las concentraciones de sulfuro de hidrógeno se diluyen en la atmósfera y están por debajo del límite de detección del ensayo de laboratorio y dentro del ECA para aire. Se concluye que la calidad del aire en las estaciones de muestreo, respecto a la concentración de sulfuro de hidrógeno, se encuentra en un valor por debajo del límite de detección, por lo que se encontraron dentro del ECA para aire establecido por la normativa vigente.

Reategui (2018), en su tesis de doctorado en ingeniería y ciencias ambientales, denominada “Estimación de la concentración de material particulado PM10 y PM2.5 en

el área metropolitana de Lima utilizando un modelo euleriano”, estableció como objetivo estimar la concentración de PM10 y PM2.5 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, asimismo, el comportamiento diario de la concentración de PM10 y PM2.5 muestra descenso. El autor concluye que las concentraciones de valores medios observados en las estaciones tienen un comportamiento relacionado con las características del tráfico vehicular y que el grueso de la contaminación está influenciado por el material particulado PM10.

Finalmente, Rubio (2019), en su tesis para obtener el título profesional de ingeniero ambiental, titulada “Monitoreo y evaluación del impacto ambiental del material particulado PM10 y PM2,5 en la Universidad Politécnica Salesiana campus sur”, tuvo como objetivo determinar las concentraciones de los valores de PM 10 y PM 2.5 en los puntos de monitoreo en la Universidad Politécnica Salesiana campus sur. Los resultados muestran que en los cinco puntos de monitoreo se cumple con los LMP de la norma de calidad del aire ambiente o nivel de inmisión, siendo relacionados con la cantidad de vehículos livianos y pesados que circulaban, influenciando directamente con los resultados obtenidos del monitoreo. El autor concluye que los niveles de contaminación en los puntos fuera y dentro de las instalaciones de la universidad cumplen con los límites máximos permitidos en PM10 y PM2.5.

2.2. MACO REFERENCIAL

2.2.1. Contaminación atmosférica

Para entender a cabalidad el significado de contaminación atmosférica es necesario conocer con anterioridad la definición de atmósfera y lo que abarca. Para Anglés, Rovalo y Tejado (2021), la atmósfera “es 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” (p. 149). La atmósfera es denominada como “aire” en el habla común, comenzando en la superficie de la Tierra y terminando en el espacio exterior, aunque no existe consenso sobre este último punto. La atmósfera está dividida en capas, las cuales en orden ascendente (por altitud) son: tropósfera, estratósfera, mesósfera, termósfera y exósfera.

Teniendo claro lo precedente, puede entenderse a la contaminación atmosférica o contaminación del aire como la presencia en la atmósfera de elementos contaminantes

que alteran su composición y afectan a cualquier componente del ecosistema; asimismo, desde un punto de vista antropocéntrico, la contaminación atmosférica hace referencia a los contaminantes que afectan la salud o el bienestar del ser humano (Ubilla & Yohannessen, 2017). En sentido similar, Martínez y Díaz (2004) definen 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).

A su vez, Yassi *et al.* (2002) afirman que la contaminación del aire es un tipo de contaminación ambiental que, debido a la emisión de contaminantes, transforma perjudicialmente los procesos naturales de la atmósfera en una proporción que excede sus capacidades, lo cual origina daños para la salud de los seres vivos, especialmente para la población más susceptible.

Según su origen, los contaminantes de la atmósfera se clasifican en antropogénicos o naturales. Los primeros derivan de la actividad humana, esencialmente la industria (automovilística, pesquera, petrolera, minera, etc.); mientras que los segundos son el resultado de procesos de la naturaleza, por ejemplo, las erupciones volcánicas o el polen en suspensión. Según su estado, los principales contaminantes atmosféricos poseen estructura gaseosa, tales como el dióxido y el monóxido de carbono (CO_2 , CO), el dióxido de azufre (SO_2) y óxido nitroso (N_2O), el ozono (O_3), el sulfuro de hidrógeno (H_2S), entre otros; aunque también pueden presentarse en partículas que mezclan componentes sólidos y líquidos, conocidas como material particulado (Ubilla & Yohannessen, 2017).

a. Contaminantes principales del aire

Los principales contaminantes de la atmósfera son los gases producidos por la actividad humana y, en menor proporción, los originados por causas naturales. Sobre el particular, Anglés, Rovalo y Tejado (2021) elaboraron una lista de los principales contaminantes del aire, entre los cuales incluyeron al dióxido de azufre (SO_2), dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), ozono (O_3), plomo (Pb), partículas menores a 10 micrómetros (PM_{10}) y partículas menores a 2.5 micrómetros ($\text{PM}_{2.5}$).

Los principales contaminantes de la atmósfera, conocidos también como “contaminantes criterio”, son aquellos contaminantes frecuentes que originan mayor perjuicio al ambiente y a los seres vivos, contando con estándares de calidad ambiental (ECA) establecidos

normativamente (MINAM, 2015, p. 16). En el Perú, los contaminantes principales del aire que cuentan con ECA 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 PM2.5, el plomo (Pb), el benceno, los hidrocarburos totales (HT) y el hidrógeno sulfurado (H₂S).

b. Índice de Calidad del Aire

El Índice de Calidad del Aire (INCA), también denominado índice nacional de calidad del aire es un indicador que califica el estado de la calidad del aire en una zona determinada del territorio nacional. El INCA se cimenta en valores establecidos por los estándares nacionales de calidad ambiental del aire y los niveles de alerta nacional de contaminantes del aire (Resolución Ministerial N°112-2015-MINAM, 14 de mayo del 2015). Para un mejor entendimiento, la información sobre la calidad del aire se presenta de forma entendible para la población mediante la página INFOAIRE PERÚ, representándose mediante números y colores en cuatro niveles de cuidado para la salud:

- Una banda de color verde que comprende valores del INCA de 0 a 50, significa que la calidad del aire es buena.
- Una banda de color amarillo que comprende valores del INCA de 51 a 100, indica que la calidad del aire es moderada.
- Una banda de color anaranjado que comprende valores del INCA de 101 a 167, denota que la calidad del aire es mala.
- Finalmente, una banda de color rojo que nos indica que la calidad del aire se encuentra en el umbral de cuidado, el cual corresponde a la aplicación de los estados de alerta por parte de la autoridad de salud.

Dichos niveles de cuidado para la salud se representan en la siguiente tabla:

Tabla 3. Perú: Valores del INCA

CLASIFICACION	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

Ahora bien, más allá de la clasificación ilustrativa de la calidad del aire, es necesario que se dé a conocer los riesgos y recomendaciones asociadas a cada calificación específica, pues cada categoría corresponde a distintos niveles de cuidado. En ese sentido, se presenta a continuación una tabla en la que se explican los riesgos y recomendaciones según el nivel de cuidado para la salud que se desprende del valor del INCA:

Tabla 4. *Perú: Calificación del estado de la 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

2.2.2. Material particulado

El material particulado, también conocido como “partículas en suspensión” y comúnmente abreviado como MP o PM (por sus siglas en inglés), es definido por Arciénagas (2012) como “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” (p. 196). De igual modo, el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2015) define al material particulado

como un conjunto 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).

El material particulado está constituido por una mezcla compleja de productos químicos y/o elementos biológicos en suspensión, tales como “metales, sales, materiales carbonosos, orgánicos volátiles, compuestos volátiles (COV), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y endotoxinas que pueden interactuar entre sí formando otros compuestos” (Arciénagas, 2012, p. 12). En cuanto a las actividades humanas que generan material particulado y lo liberan hacia la atmósfera, encontramos principalmente a la quema de combustibles como carbón, gas, petróleo, madera de motores, hornos, estufas y calderos, aunque también es frecuente su producción en actividades de construcción, fundiciones, elaboración de harina y aceite de pescado, elaboración de cemento y cal, entre otros (Resolución Ministerial N°112-2015-MINAM, 14 de mayo del 2015).

La propiedad diferencial más relevante del material particulado es el diámetro mayor de las partículas que lo componen, pues estas poseen tamaños, formas y composición variada, por lo que su identificación ha requerido que se esboce una clasificación en torno a su diámetro aerodinámico, diferenciándose así entre material particulado PM10 y PM2.5. El material particulado PM10 es aquel cuyas partículas ostentan un diámetro menor o igual a 10 micrómetros, mientras que el material particulado PM2.5 es aquel cuyas partículas tienen un diámetro menor o igual a 2.5 micrómetros (R.M. N° 112-2015-MINAM, 14 de mayo del 2015). La presencia de PM10 y PM2.5 en proporciones mayores a los estándares de calidad del aire pueden originar efectos perjudiciales a nivel cardiorrespiratorio para el ser humano, así como el deterioro de materiales, en mayor o menor medida según cada caso concreto.

a. PM10

Según el OEFA (2015), “se denomina «PM-10» a las partículas de diámetros inferiores a $10\ \mu\text{m}$ (micrómetros o micras)” (p. 12). Para la Organización Panamericana de la Salud (2018), el material particulado PM10 está constituido por partículas de menos de 10 micrómetros de diámetro, siendo mucho más visibles en la atmósfera a diferencia del PM2.5. 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 el Perú, el Ministerio del Ambiente ha asociado ciertos parámetros numéricos de concentración de PM₁₀ (medida en ug/m³) con los intervalos del índice de calidad del aire establecidos mediante Resolución Ministerial N°112-2015-MINAM, de fecha 14 de mayo del 2015. Consecuentemente, puede relacionarse el nivel de concentración de PM₁₀ con una calificación buena, moderada, mala o de umbral de cuidado respecto a la calidad del aire, tal como se desarrolla en la siguiente tabla:

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

CALIFICACIÓN	INTERVALO DEL INCA	CONCENTRACIÓN DE PM ₁₀ (ug/m ³)
Buena	0 - 50	0 - 75
Moderada	51 - 100	76 - 150
Mala	101 - 167	151 - 250
Umbral de cuidado	> 167	> 250

Fuente: Resolución Ministerial N°112-2015-MINAM

b. PM_{2.5}

El material particulado PM_{2.5} está constituido por partículas de menos de 2.5 micrómetros de diámetro, las cuales son denominadas “partículas finas”. Dichas partículas, debido a su pequeño tamaño (alrededor de 1/30 del ancho promedio de un cabello del ser humano), suelen representar un riesgo mayor para la salud humana, toda vez que pueden instalarse con mayor facilidad en las zonas profundas de los pulmones (OPS, 2018). El PM_{2.5} destaca por el pequeño tamaño de sus partículas suspendidas, las cuales son difícilmente percibidas, siendo contaminantes que incluyen principalmente elementos químicos orgánicos como el hollín, gases vehiculares y de fábricas, polvo, etc.

En nuestro país, el Ministerio del Ambiente ha establecido parámetros objetivos mediante los cuales, previa medición, puede determinarse si la concentración de PM_{2.5} (medida en ug/m³) se encuentra dentro de los estándares de calidad del aire y, además, si dicha concentración puede calificarse en el índice de calidad del aire como buena, moderada, mala o en el umbral de cuidado. A continuación, se presenta una tabla con mayor detalle sobre lo antes referido:

Tabla 6. Perú: Índice de Calidad de Aire para $PM_{2.5}$

CALIFICACIÓN	INTERVALO DEL INCA	CONCENTRACIÓN DE $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)
Buena	0 - 50	0 – 12.5
Moderada	51 - 100	12.6 - 25
Mala	101 - 167	25.1 - 125
Umbral de cuidado	> 167	> 125

Fuente: Resolución Ministerial N°112-2015-MINAM

c. Efectos de los PM en la salud

Las partículas contaminantes (entre ellas, por supuesto, PM_{10} y $PM_{2.5}$) que se emanan hacia la atmósfera pueden afectar gravemente nuestro medio ambiente, la calidad de aire, el bienestar de ecosistemas y, por consiguiente, la salud del ser humano; en igual sentido, su presencia excesiva toma un rol importante y evidentemente negativo en el cambio climático que azota a nuestro planeta (Fuzzi *et al.*, 2015). Los efectos del material particulado sobre la salud pueden adoptar diversas formas, desde enfermedad pulmonares y respiratorias agudas hasta enfermedades crónicas como bronquitis crónica, cáncer, enfisema pulmonar o asma (Kurt, Zhang y Pinkerton, 2016); de igual forma, las partículas en suspensión originan síntomas desfavorables generales para el sistema cardiorrespiratorio e irritaciones en las mucosas, especialmente para aquellas personas con mayor sensibilidad.

Efectivamente, el material particulado, dada su composición, “genera efectos nocivos en la salud como problemas respiratorios, sobre todo en personas asmáticas y con problemas cardiovasculares, asimismo pueden ocasionar daños en el tejido pulmonar, mortalidad prematura y en algunos casos cáncer” (Resolución Ministerial N°112-2015-MINAM, 14 de mayo del 2015, artículo 2°). Los efectos perjudiciales del material particulado se reflejan con mayor severidad en los países desarrollados o en desarrollo (v.g. Estados Unidos, China, Japón), habida cuenta de que en tales países las fuentes generadoras antropogénicas son vastas y múltiples.

2.2.3. Generación del material particulado

a. Fuentes generadoras en general

Las fuentes generadoras de material particulado son antropogénicas o naturales, siendo que estas, en mayor o menor medida, afectan la composición química de la atmósfera (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático de México, 2010). Las fuentes naturales de material particulado se concentran en las emisiones volcánicas, las partículas arrastradas por el viento, el aerosol marino y los cambios meteorológicos que afectan la concentración de PM (Arciénagas, 2012). Por otro lado, entre las principales fuentes antropogénicas de material particulado identificamos a las emisiones de gases de escape y partículas procedentes de las naves, aeronaves y vehículos terrestres, así como las fábricas en cada rubro de la industria. De todos estos contaminantes, Toro *et al.* (2001) aseguran que las emisiones vehiculares constituyen la principal fuente de material particulado, y a la vez la más perjudicial.

Figura 1. Clasificación de las fuentes de generación de PM



Fuente: Buitrago y Tejeiro, 2019, p. 24

b. Fuentes fijas o estacionarias

Las fuentes fijas o estacionarias hacen referencia a todas las fuentes situadas en una instalación establecida en un lugar definido e inamovible, y que tenga como propósito el desarrollo de procesos industriales, comerciales, servicios o actividades que generen emisiones contaminantes a la atmósfera (INECC, 2010). Las fuentes fijas más comunes son las que provienen de actividades de combustión, sobresaliendo las plantas generadoras de electricidad (especialmente aquellas que emplean carbón), las plantas industriales (entre ellas las de harina y aceite de pescado) y las plantas comerciales.

De acuerdo al INECC (2010), comúnmente las emisiones provenientes de fuentes estacionarias se generan como resultado de uno de los siguientes mecanismos: a) la molienda, trituración o abrasión de materiales, b) la evaporación de materia volátil derivada de materiales sujetos a calentamiento, c) el arrastre de partículas finas en flujos gaseosos.

c. Fuentes móviles

Méndez (2018) define a las fuentes móviles como aquella “fuente de emisión que, por razón de su uso o propósito, es susceptible de desplazarse, como los automotores o vehículos de transporte a motor de cualquier naturaleza” (p. 9). Las fuentes móviles se encuentran ligadas las emisiones de gases provenientes de los vehículos a motor, ya sea a partir de sus tubos de escape (principal fuente), desgaste de frenos, desgaste de neumáticos, etc.

Las emisiones de este tipo de fuentes son principalmente producidas por la combustión y evaporación de los combustibles utilizados para el funcionamiento de los vehículos, así como el desgaste de los frenos y las llantas (INECC, 2010). Las fuentes móviles comprenden, en general, a los vehículos públicos y particulares, camiones, autobuses, motocicletas, así como aquellos que no circulan por carreta o ciudad como las maquinarias de construcción, las de uso agrícola, las embarcaciones, las aeronaves, etc.

d. Fuentes fugitivas

Las fuentes fugitivas son aquella cuyas emisiones no son canalizadas mediante ductos, chimeneas u otros sistemas hacia el exterior; en otras palabras, se trata de fuentes abiertas. Ejemplos puntuales de fuentes fugitivas son las emisiones provenientes de calles pavimentadas y sin pavimentar, la construcción y demolición de edificios, el polvo, la erosión de las rocas por acción del viento, las pilas de carbón expuestas a la erosión del viento, las operaciones mineras, entre otras (Ghose y Majee, 2000). En general, las fuentes fugitivas se caracterizan porque su frecuencia de emisión hacia la atmósfera depende en gran parte de ciertos parámetros meteorológicos como la humedad ambiental, las precipitaciones, la velocidad del viento, el calor proveniente del sol, etc.

2.2.4. Sulfuro de hidrógeno

a. Definición y propiedades

El sulfuro de hidrógeno (H_2S), también denominado ácido sulfhídrico, es un compuesto químico conformado por dos moléculas de hidrógeno (H) y una de azufre (S), encontrándose en estado gaseoso. Gotor (2020) define al sulfuro de hidrógeno como un gas incoloro caracterizado por emanar un desagradable olor, que se encuentra naturalmente en los gases de los volcanes, el gas natural, la descomposición de la materia orgánica, las sales de roca, entre otros; mientras que su producción antropológica se da a partir de la actividad industrial.

En sentido similar, Pando (2019) refiere que el ácido sulfhídrico es un gas incoloro, inflamable, más denso que el aire (por lo que puede acumularse en lugares cerrados) y extremadamente peligroso con olor a "huevo podrido", el cual se presenta naturalmente en el petróleo crudo, el gas natural, los pantanos, la descomposición de materia orgánica y desechos orgánicos, toda vez que es una molécula primigenia que se origina durante el metabolismo anaeróbico de las bacterias; sin embargo, también es producido en grandes cantidades por la actividad industrial del ser humano.

El sulfuro de hidrógeno puede ser liberado, independientemente de que se produzca por fuentes naturales o antropogénicas, en distintos componentes del ambiente, ya sea el aire, el agua o el suelo, teniendo repercusiones distintas en cada supuesto, según se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla 7. *Sulfuro de hidrógeno (H_2S) según dónde se encuentra en el ambiente*

Posibles fuentes	Resultado
El aire: La mayor parte del ácido sulfhídrico que se libera al aire proviene de fuentes naturales como pantanos y volcanes. El ácido sulfhídrico también puede ser liberado desde fuentes industriales tales como refinerías de petróleo, plantas de gas natural, molinos de papel, plantas de tratamiento de abonos, plantas de tratamiento de aguas residuales y de curtido. Las concentraciones de ácido sulfhídrico en el	El ácido sulfhídrico permanece en la atmósfera aproximadamente entre 1 y 42 días, dependiendo de la temporada. En el aire puede transformarse en anhídrido sulfuroso y sulfatos.

aire provenientes de fuentes naturales varían entre 0.00011 y 0.00033 ppm. Las concentraciones en el aire de áreas urbanas son generalmente menores de 0.001 ppm.	
El agua: El ácido sulfhídrico puede ser liberado al agua en desechos líquidos de una planta industrial o como resultado de un evento natural. Puede encontrarse en forma natural en agua de manantial.	Las concentraciones de ácido sulfhídrico en agua de superficie generalmente son muy bajas porque se evapora fácilmente desde el agua. También puede estar presente en el agua subterránea.
El suelo: El ácido sulfhídrico puede pasar al suelo por deposición atmosférica o a raíz de derrames.	En el suelo, el ácido sulfhídrico es consumido por bacterias que lo transforman en azufre.

Fuente: Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades de los Estados Unidos, 2014, p. 9

Es importante mencionar que, en nuestro país, la peligrosidad para la salud humana y el potencial perjuicio ambiental del sulfuro de hidrógeno no ha pasado desapercibido por las autoridades. En ese sentido, el Ministerio del Ambiente se ha encargado de establecer normativamente ciertos parámetros cuantitativos a través de los cuales puede determinarse si la concentración de H_2S (medida en ug/m^3) se encuentra dentro de los estándares de calidad del aire y si dicha concentración puede calificarse en el índice de calidad del aire (INCA) como buena, moderada, mala o en el umbral de cuidado.

Tabla 8. Perú: Índice de Calidad de Aire para sulfuro de hidrógeno (H_2S)

CALIFICACIÓN	INTERVALO DEL INCA	CONCENTRACIÓN DE H_2S (ug/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

b. Efectos sobre la salud

Los efectos que tiene el ácido sulfhídrico sobre la salud del ser humano pueden variar dependiendo del tiempo y el nivel de exposición de la persona al gas, así como su sensibilidad ante el mismo (v.g. las personas asmáticas resultan más afectadas a comparación con las demás). Pando (2019) diferencia tres niveles de concentración de H_2S y sus efectos característicos sobre la salud humana. Así, cuando la concentración es baja se genera en la persona irritación de ojos, nariz, garganta y sistema respiratorio en general, siendo que los efectos no son inmediatos.

Cuando la concentración del aludido gas es moderada, la irritación en los ojos y los órganos respiratorios se torna más severa, originándose a la par dolor de cabeza, vómitos, náuseas, tos, entre otros síntomas. Finalmente, cuando las concentraciones de sulfuro de hidrógeno son altas, la persona entra en estado de shock, presentando convulsiones, incapacidad para respirar, llegando incluso a un estado de coma o a la muerte y, a diferencia de los otros niveles, los efectos pueden acaecer inmediatamente.

Por su parte, Gotor (2020) menciona que el H_2S es conocido desde hace siglos por su toxicidad y peligrosidad para la salud humana y el ambiente, toda vez que:

La presencia de sulfuro en la mitocondria produce la inhibición del citocromo c oxidasa de la cadena respiratoria, impidiendo así la respiración celular, al igual que la inhibición producida por el monóxido de carbono (CO) y óxido nítrico (NO). Sin embargo, por debajo de un umbral específico de concentración, CO y NO (y también H_2S) actúan en diversos eventos celulares y, actualmente se consideran moléculas de señalización que funcionan como gasotransmisores fisiológicos. (párr. 2)

A continuación, se presenta una tabla que sintetiza los principales efectos en la salud humana que ocasiona la exposición al sulfuro de hidrógeno, diferenciados según el nivel de concentración del gas:

Tabla 9. *Efectos en la salud por exposición al sulfuro de hidrógeno (H₂S)*

Límite de exposición (ppm)	Efectos en la salud
0,008-0,2	Umbral respiratorio, se detecta olor a huevo podrido.
20	Olor a fuga de gas, tolerancia durante algunas horas sin daño.
20-50	Irritación ocular.
50 – 60	Exposición prolongada puede causar conjuntivitis y dolor de ojos, faringitis o bronquitis.
150+	Irritación del tracto respiratorio superior, sensación de pérdida del olfato.
250	Edema pulmonar con riesgo de muerte.
500	Muy peligroso, se debe evacuar mucho antes de llegar a este nivel.
1000	Pérdida de conciencia.
1000-2000	Intoxicación aguda: los síntomas incluyen respiración agitada, angustia, náusea y vómito. Puede ser rápidamente seguido de pérdida de conciencia, coma y paro respiratorio.
2000+	Pérdida inmediata de conciencia y alta probabilidad de muerte.

Fuente: Red Internacional de Amenazas Volcánicas para la Salud – IVHHN, s.f.

2.2.5. Base legal

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

El 15 de octubre del año 2005 fue publicada la Ley N°28611, Ley General del Ambiente (LGA), siendo de obligatorio cumplimiento para cualquier persona natural o jurídica dentro del territorio nacional. Según el artículo 1° de la aludida norma jurídica, el objetivo que persigue esta 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 el artículo 2° numeral 22° de nuestra Constitución Política. Además, la Ley General del Ambiente busca el efectivo cumplimiento del deber de gestión y protección del ambiente que concierne al Estado, con la finalidad de mejorar la calidad de vida de la población y lograr el desarrollo sostenible del país.

El artículo I del Título Preliminar de la LGA desarrolla con mayor amplitud el derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de la vida, el cual es un derecho humano de tercera generación previsto como derecho fundamental en nuestra vigente Constitución Política de 1993. En ese marco, el mencionado artículo de la LGA establece que “toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida”. Sin perjuicio de ello, el artículo precitado también regula deberes para la población, plasmando que toda persona tiene el deber de “contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, (...) y está obligada a proporcionar adecuada y oportunamente a las autoridades la información que éstas requieran para una efectiva gestión ambiental”.

Por otra parte, 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”. No obstante, 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, según sea el caso.

Así mismo, el artículo IX del Título Preliminar de la LGA 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”. En caso no sea posible recuperar el ambiente, deberá compensar pecuniariamente los daños producidos, sin que esto evite que sea procesado en el ámbito penal, civil y/o administrativo, según corresponda.

b. 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 07 de junio del año 2017 se publicó el Decreto Supremo N°003-2017-MINAM, a través del cual se aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire. Debe destacarse el anexo de la mencionada norma, pues en este se establecen los parámetros que deben cumplir los principales contaminantes de la atmósfera (PM, H₂S, Pb, O₃, SO₂, C₆H₆, NO₂, CO, etc.) para ser considerados conforme a los ECA para aire. Respecto al material particulado PM₁₀, la concentración anual no debe exceder de una media aritmética anual (entiéndase como un promedio de las emisiones) de 50 µg/m³; en cuanto

al material particulado PM2.5, la concentración anual no debe exceder de una media aritmética anual de 25 µg/m³; y respecto al sulfuro de hidrógeno (H₂S), la concentración diaria (24 horas) no debe exceder de una media aritmética de 150 µg/m³.

c. 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 16 de mayo del 2009 se publica el Decreto Supremo N°011-2009-MINAM, el cual 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°). Los LMP plasmados en el Anexo del Decreto Supremo N°011-2009-MINAM se detallan a continuación:

Tabla 10. *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

2.2.6. Los Estándares de Calidad Ambiental y los Límites Máximos Permisibles

Las actividades del ser humano, inevitablemente, tienen repercusión en el ambiente, ya sea de forma positiva o negativa; en ese contexto, resulta sumamente necesario que el Estado, haciendo uso de su facultad para normar las conductas humanas, regule estas actividades procurando la prevención y el resarcimiento del menoscabo del medio ambiente y la salud de las personas. Para el logro de estos propósitos, nuestro Estado ha implementado legislativamente distintos instrumentos de gestión ambiental, entre los cuales destacan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y los Límites Máximos Permisibles (LMP).

El Ministerio del Ambiente (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). En sentido similar, 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. Es un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental. (artículo 31°)

En cuanto a los Límites Máximos Permisibles (LMP), el MINAM (2012) los define 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). Por su parte, la LGA establece que el LMP es “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°). Cabe precisar que los LMP son establecidos normativamente por el Ministerio del Ambiente.

Asimismo, la LGA regula en su artículo 33° numeral 1 que la Autoridad Ambiental Nacional, haciendo referencia al Ministerio del Ambiente, elabora y revisa las propuestas de ECA y LMP en coordinación con los sectores correspondientes, para que estos, luego de ser remitidos a la Presidencia del Consejo de Ministros, sean aprobados a través de un decreto supremo. Para la elaboración y revisión de los ECA y LMP, el MINAM debe guiarse de los criterios establecidos por organismos supranacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS) u otras entidades especializadas en temas ambientales.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

2.3.1. Ambiente

El ambiente es definido como “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).

2.3.2. Calidad ambiental

La calidad ambiental es la “condición de equilibrio natural que describe el conjunto de procesos geoquímicos, biológicos y físicos, y sus diversas y complejas interacciones, que tienen lugar a través del tiempo, en un determinado espacio geográfico” (MINAM, 2012, p. 53). La calidad ambiental puede verse impactada de forma positiva o negativa por el accionar humano, colocándose en peligro la integridad del ambiente y la salud de los seres humanos.

2.3.3. Contaminante

Se entiende por contaminante a “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).

2.3.4. Emisión

La emisión consiste en un “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).

2.3.5. Límite de cuantificación

El límite de cuantificación es “la concentración mínima que puede determinarse con un nivel aceptable de exactitud y precisión. Se establece examinando una muestra o material de referencia apropiado” (Instituto Nacional de Calidad, 2017, p. 7)

2.3.6. Límite de detección

El límite de detección de un procedimiento analítico “es la menor cantidad de un analito de una muestra la cual puede ser detectada pero no necesariamente cuantificada con un valor exacto. El contenido más bajo que se puede medir con certeza estadística razonable” (INACAL, 2017, p. 7).

2.3.7. Monitoreo ambiental

El monitoreo ambiental “comprende 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).

2.3.8. Muestreo ambiental

El muestreo ambiental consiste 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).

2.3.9. Procedimiento

A efectos de los estándares de calidad ambiental para el aire, un procedimiento es un “documento que describe la manera como se debe llevar a cabo una función determinada” (OEFA, 2015, p. 13).

2.3.10. Protocolo

El protocolo “es un documento guía que contiene pautas, instrucciones, directivas y procedimientos establecidos para desarrollar una actividad específica” (OEFA, 2015, p. 13).

2.3.11. Límite Máximo Permisible (LMP)

El Límite Máximo Permisible (LMP), según establece el Decreto Supremo N°011-2009-MINAM, de fecha 16 mayo de 2009, 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)

2.3.12. Estándar de Calidad Ambiental (ECA)

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” (D.S. N°011-2009-MINAM, 16 mayo de 2009, artículo 2° numeral 5).

2.3.13. Fuente puntual

Remitiéndonos al Decreto Supremo N°011-2009-MINAM, de fecha 16 mayo de 2009, la fuente puntual es definida como:

Fuente de emisión de contaminantes atmosféricos cuya ubicación puede ser definida de manera precisa mediante las coordenadas UTM de un único punto en el espacio. La fuente puntual puede ser estacionaria, si sus coordenadas no varían en el tiempo, o móvil en caso contrario. Las fuentes puntuales pueden ser monitoreadas en términos de flujo y concentración o valor del parámetro. (artículo 2° numeral 7)

2.3.14. Autoridad competente

En lo concerniente a las emisiones de la industria de harina y aceite de pescado y harina de residuos hidrobiológicos, se entiende por autoridad competente a la “autoridad que ejerce las funciones de supervisión, evaluación y aprobación de los instrumentos de gestión ambiental de la actividad pesquera” (D.S. N°011-2009-MINAM, 16 mayo de 2009, artículo 2° numeral 1). En ese sentido, la autoridad competente en este rubro es el Ministerio de la Producción – PRODUCE.

2.3.15. Emisiones Fugitivas.

Según el Decreto Supremo N°011-2009-MINAM, de fecha 16 mayo de 2009, las emisiones fugitivas:

Son todas aquellas fugas o escapes que se producen o emiten directa o indirectamente a la atmosfera, procedentes de las operaciones y procesos de una planta pesquera. Su impacto se puede medir por la alteración de la calidad del aire en los límites del establecimiento. (artículo 2° numeral 3).

2.3.16. Cuerpo receptor

Se entiende como cuerpo receptor a “la atmosfera, el agua y los suelos cuyas calidades se comparan con los estándares de calidad ambiental respectivos” (D.S. N°011-2009-MINAM, 16 mayo de 2009, artículo 2° numeral 2).

2.3.17. Contaminación atmosférica

El término “contaminación atmosférica” posee diversas acepciones, pero todas ellas presentan una esencia común, la cual hace alusión 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).

2.3.18. Aire Contaminado

El aire contaminado es definido como:

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)

2.3.19. Calidad de aire

Para Porta, Sánchez y Colman (2018):

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. incluyendo la naturaleza del suelo, la biota y las diferentes actividades que se realizan en un territorio. Para definir la calidad del aire de una región, se establece un índice de calidad del aire (AQI) en una escala que va de buena a mala. Cuando se incrementa el valor de AQI, un porcentaje creciente de la población podría verse afectada por los efectos adversos de los contaminantes estudiados. (p. 40)

2.3.20. Lluvia ácida

La lluvia ácida es un fenómeno fisicoquímico que, en palabras de Garcés y Hernández (2004):

Comprende tanto a la precipitación, depósito, deposición húmeda de sustancias ácidas disueltas en el agua lluvia, nieve y granizo, como a la precipitación o deposición seca, por la cual los aerosoles o compuestos gaseosos ácidos son depositados como cenizas, hollín o como gases en el suelo, en las hojas de los árboles y en las superficies de los materiales. (p. 68)

2.3.21. Harina residual de pescado

Es un producto elaborado a partir de los residuos de la industria pesquera, como sobras de pescado y recortes, que no son aptos para el consumo humano directo.

III. METODOLOGÍA

3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Se empleó el método Inductivo-Deductivo:

- Inductivo: Es un método científico que deriva conclusiones generales a partir de premisas individuales, guardando mayor relación con el descubrimiento y el hallazgo (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).
- Deductivo: Es un procedimiento de investigación que utiliza un tipo de pensamiento que va desde un razonamiento más general y lógico basado en leyes o principios, hasta un hecho concreto, guardando mayor relación con la comprobación y la verificación (Hernández et al., 2014).

3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

En la presente investigación no se manipularon de forma deliberada las variables independientes para analizar su repercusión sobre las variables dependientes, sino que se observó un fenómeno en su contexto natural para realizar un análisis puro (Sullivan, 2009); en ese marco, esta investigación tuvo un diseño no experimental. Asimismo, el presente trabajo tuvo un diseño longitudinal, puesto que su propósito está centrado en analizar el nivel o estado de las variables en los periodos del 2020 al 2025.

Del mismo modo, la investigación se desarrolló en el nivel descriptivo, buscando delimitar y analizar una problemática concreta, siendo que las investigaciones descriptivas buscan detallar los caracteres más importantes y pertinentes de un conjunto de fenómenos en estudio (variables), empleando criterios sistemáticos que propician el establecimiento de su comportamiento y estructura (Guevara, Verdesoto y Castro, 2020).

Finalmente, la investigación utilizó el enfoque correlacional. Este tipo de estudios tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en particular (Hernández, et al., 2014).

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

Población: Planta pesquera OP7 & BELL SAC durante el año 2020 al 2025, distrito de Chimbote.

Muestra: Probabilista semestral para los parámetros material particulado (PM) y sulfuro de hidrógeno (H₂S), en sus tres (03) puntos establecidos:

- Primer punto establecido: planta de agua de cola
- Segundo punto establecido: molino seco
- Tercer punto establecido: enfriador de harina
- Producción de harina residual en forma semestral, periodo 2020-2025

3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tabla 11. Matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Unidad de medida
Material Particulado	Consiste en la acumulación de diminutas piezas de sólidos o de gotas de líquidos en la atmósfera ambiental, generada a partir de alguna actividad antropogénica (Fuzzi <i>et al.</i> , 2015).	EPA 40 CFR, Appendix A-3 to Part 60, Method 5: 2021- Laboratorio acreditado ante INACAL Análisis y resultados de muestras tomadas de PM10 y PM2.5	PM ₁₀ PM _{2.5}	mg/cm ²
Sulfuro de Hidrógeno	Gas inflamable, incoloro, con un olor característico a huevos podridos. Se conoce comúnmente como ácido hidrosulfúrico o gas de alcantarilla (Pando, 2019).	EPA Method 16A:2021 Laboratorio acreditado ante INACAL Análisis y resultados de muestras tomadas	H ₂ S	mg/m ³
Producción de harina residual	La harina residual de pescado proviene de los residuos sólidos de anchoveta, jurel, caballa, bonito u otras especies que provienen de las empresas conserveras	Registros mensuales del área de Producción en función al ingreso de residuos y el total de toneladas de harina residual obtenida	Producción mensual	TM

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

En la presente investigación se utilizaron las siguientes técnicas e instrumentos:

Técnica de observación: Mediante esta técnica se evidencia directamente el fenómeno para recabar la información pertinente, registrándola para su interpretación y análisis.

Técnica de análisis documental: Se realizará el análisis documental (para la información secundaria) haciendo uso de los instrumentos denominados ficha bibliográfica, ficha de campo y cuaderno de ocurrencias. Asimismo, se recurrirá a datos históricos de fuentes

confiables que permitirán obtener un panorama cabal y concreto, proporcionados por la empresa pesquera OP7 & BELL S.A.C.

En general, el procedimiento de análisis se divide en dos pasos:

- a) Uso de programa Excel para la sistematización de los datos obtenidos o recolectados.
- b) Aplicación de ficha de recojo de laboratorio, como método de recolección.

3.6. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para el diagnóstico de la planta pesquera, se elaboró el diagrama de operaciones completo del proceso productivo, incidiendo en los parámetros del proceso e identificando las etapas más contaminantes con MP y H₂S.

Las mediciones se realizaron por semestres en los tres (3) puntos establecidos de la empresa pesquera OP7 & BELL SAC: planta de agua de cola, molino seco y enfriador de harina. Para ello, se tomó la data de años anteriores ya realizados por un laboratorio acreditado y los del año 2025 se determinaron utilizando la NTP 900.005 – 2001, USEPA, Método 5, para Materia Particulado y NTP 900.015 – 2002, USEPA, Método 16A, para Sulfuro de Hidrogeno (H₂S).

Posteriormente, habiendo identificado los niveles de material particulado (PM) y sulfuro de hidrógeno (H₂S) en los periodos determinados, estos fueron comparados con los Límites Máximos Permisibles (LMP) de la normativa nacional vigente y con la producción de harina residual de la planta pesquera.

Finalmente, se estableció una matriz de estrategias, haciendo uso del software Mic Mac y los formatos respectivos.

3.7. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Por la tipología de la investigación, esta no se ajusta a un esquema estadístico; por lo tanto, el análisis estuvo ligado a la contrastación de la hipótesis planteada con los hallazgos de la investigación utilizando la prueba de Tukey al 5%. Asimismo, se elaboró un ANOVA (análisis de varianza) para comparar las medias de las muestras. Los resultados se analizaron a través de tablas y gráficos realizados en hoja de cálculo en el paquete estadístico Excel, elaborando finalmente las medidas de control en base a los resultados obtenidos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Descripción del Proceso Productivo de harina residual que desarrolla la planta pesquera OP7 & BELL SAC

Recepción de materia prima:

La materia prima de la planta de harina residual, que incluye residuos o descartes generados durante la producción de conservas, se traslada mediante un transportador helicoidal hacia la tolva de pesaje. Luego, se dirige a la poza de recepción de pescado, o bien se transporta en cámaras isotérmicas para ser pesada en la balanza de plataforma antes de ser recibida en la poza de recepción. Si la materia prima proviene de plantas de terceros, estas deben contar con un convenio de abastecimiento autorizado por el Ministerio de la Producción. En este caso, la materia prima se transporta en volquetes y se pesa en balanzas de terceros autorizados. El proceso de recepción de materia prima comienza con la recolección del residuo en una poza de recepción. Desde allí, se transporta mediante un transportador helicoidal hacia un elevador de rastra, que lo lleva a las pozas de almacenamiento.

Almacenamiento en pozas:

El elevador de rastra lleva los residuos a dos pozas de almacenamiento, de capacidad 30 toneladas cada una, donde se almacenarán hasta que se tenga una cantidad suficiente para seguir la otra operación, y alimentarán al cocinador mediante un transportador helicoidal colector y un elevador de rastras.

Cocción:

Los residuos o descartes de pescado son transportados desde la poza de recepción hasta el cocinador mixto por medio de un elevador de rastra. Los objetivos de la cocción son tres: detener la actividad microbiológica, coagular las proteínas y liberar los lípidos retenidos intra e intermuscularmente en la materia prima. Esta operación facilita la extracción del agua y grasas en la prensa.

El equipo cocinador de fabricación nacional cuenta con una capacidad de 10.0 toneladas por hora, con características cilíndricas con un eje calentado por vapor y con forma de tornillo, que permite el avance de la carga, además, con una chaqueta también

calefaccionada que permite una transferencia externa del calor. De esta manera, se consigue una transferencia más homogénea de la energía hacia el producto.

Pre-strainer:

El objetivo de esta operación es eliminar la mayor cantidad de agua y aceite de pescado cocinado. Se cuenta con un equipo de fabricación nacional con un tambor rotativo de malla con agujeros de 4.5 mm de diámetro, de acero inoxidable.

Prensado:

Esta operación o fase productiva se obtiene dos subproductos de esta acción que permite separar en dos fases:

La Torta o cake de prensa, es la parte sólida la parte sólida de la etapa operacional del prensado.

El caldo de prensa, etapa que es la obtención de la parte líquida de la etapa operacional del prensado.

Para esta etapa operacional se cuenta con una prensa de doble tornillo tipo de fabricación nacional, de capacidad 10 toneladas por hora.

Molienda Húmeda:

En esta operación el concentrado proveniente de la planta de agua de cola se adiciona al cake o torta de prensa y que a su vez son mezclados con los sólidos de separadora, formando una torta mixta, donde es desmenuzado en un molino con capacidad de 10 toneladas por hora, con la finalidad de que el secado sea más homogéneo y en menor tiempo.

Separación de sólidos:

En esta operacional son tratados los líquidos obtenidos como el caldo de cocción que se obtiene en el Prestrainer y el caldo de prensa obtenido del prensado. Estos líquidos conocidos como licor de prensa, incluyéndose además la sanguaza (filtrada/tratada térmicamente), serán procesados en la separadora de sólidos.

Los sólidos obtenidos en esta operación, denominados torta de la separadora, se juntarán con el cake o torta de prensa y la fase líquida denominada licor de separadora, la cual pasa a la zona de centrifugación para separar líquidos de densidades diferentes.

Centrifugación:

En esta operación son tratados el licor de la separadora, que tiene por finalidad separar el aceite y el agua haciendo empleo de un equipo centrífugo. Por acción de la energía centrífuga se realiza la separación, la misma que es continua. El líquido obtenido es conocido como caldo de la centrifuga o agua de cola. El agua de cola se bombea a la planta evaporadora de agua de cola para su tratamiento.

Planta Evaporadora de agua de cola:

Esta operación es realizada por una planta de agua de cola (PAC) de triple efecto de película descendente, que evapora el agua de cola del 3 % de sólidos a un concentrado de cerca del 30 % de sólidos. El tratamiento de la planta de agua de cola tiene una capacidad de evaporación 5 000 litros de evaporación de agua por hora.

Secado:

El Cake de prensa, el sólido de separadoras y el concentrado de agua de cola son homogenizados en un molino húmedo, antes del secado en serie a vapor indirecto mediante dos etapas:

El secado se inicia mediante un secador a vapor tipo Rotadisk. Esto consiste en una camisa cilíndrica fija y un rotor, ambos calentados con vapor, está equipado con discos a través de los cuales circula vapor, la carga avanza por rebose, la energía es entregada por conducción. El agua evaporada se extrae con un exhaustor instalado en la planta evaporadora de agua de cola.

El secado se completa mediante un secador tipo Rotatubos. En esta etapa de secado, el objetivo principal es reducir la humedad a niveles de remanentes, en donde no sea posible el crecimiento microbiano, sin producir daños en la digestibilidad de la proteína, ni cambios físicos y químicos del producto. El scrap saliente del pre secado o secado inicial ingresa al secador tipo Rotatubos (RTD), equipo que es un secador de contacto construido como un tambor rotativo, con calefacción de los tubos instalados en su rotor.

El secado final de la harina de residuos sucede cuando las palas internas lanzan el material (torta integral) pre secado por encima de los tubos calentados con vapor interno y/o indirecto.

Enfriamiento:

Esta operación consiste en enfriar la harina de residuos en un equipo enfriador compuesto por un cilindro estático y un rotor con paletas que transportan y mezclan la harina con

flujos de aire en contracorriente. El aire de enfriamiento es forzado a pasar por el interior del cilindro, por un exhaustor. El aire previo a su evacuación pasa a través de filtros de mangas filtrantes. La gran sección transversal de la transición del casco del filtro provoca una disminución de la velocidad del aire, produciéndose la separación de las partículas finas por precipitación, estas caen nuevamente al enfriador y se integran a la harina. La harina enfriada es transportada mediante transportadores helicoidales al purificador, para que de forma continua pase a su molienda.

Estos enfriadores son de alta eficiencia, con los que se consigue temperaturas de salida de la harina entre 28 y 32 °C. Así mismo, con las mangas filtrantes se evita la emisión de materiales finos a la atmósfera. Con este enfriador se eliminan el ducto neumático y ciclón por donde salían los finos a la atmósfera.

Purificación:

Las partículas de harina seca pasan previamente a través de un equipo purificador de uso indispensable después del secado para separar las partículas de plástico, metálicas, huesos, cabos, etc. Su trabajo se lleva a cabo por separación centrífuga.

Molienda Seca:

Esta operación tiene por finalidad la molienda de las partículas de harina seca y obtener harina propiamente dicha, haciendo uso de un molino de martillos locos. Se obtiene una granulometría entre 98 y 99%

Este molino es asistido por aire por un exhaustor y cuenta con mangas filtrantes que evita la emisión de partículas finas a la atmósfera.

Adición de antioxidante:

Luego de la molienda seca, a la harina se le adiciona el antioxidante en el sistema de dosificación a 3000 ppm de antioxidante BHT y mezclado con paletas. Luego es transportada a la zona de ensaque por medio de un transportador helicoidal.

Ensaque:

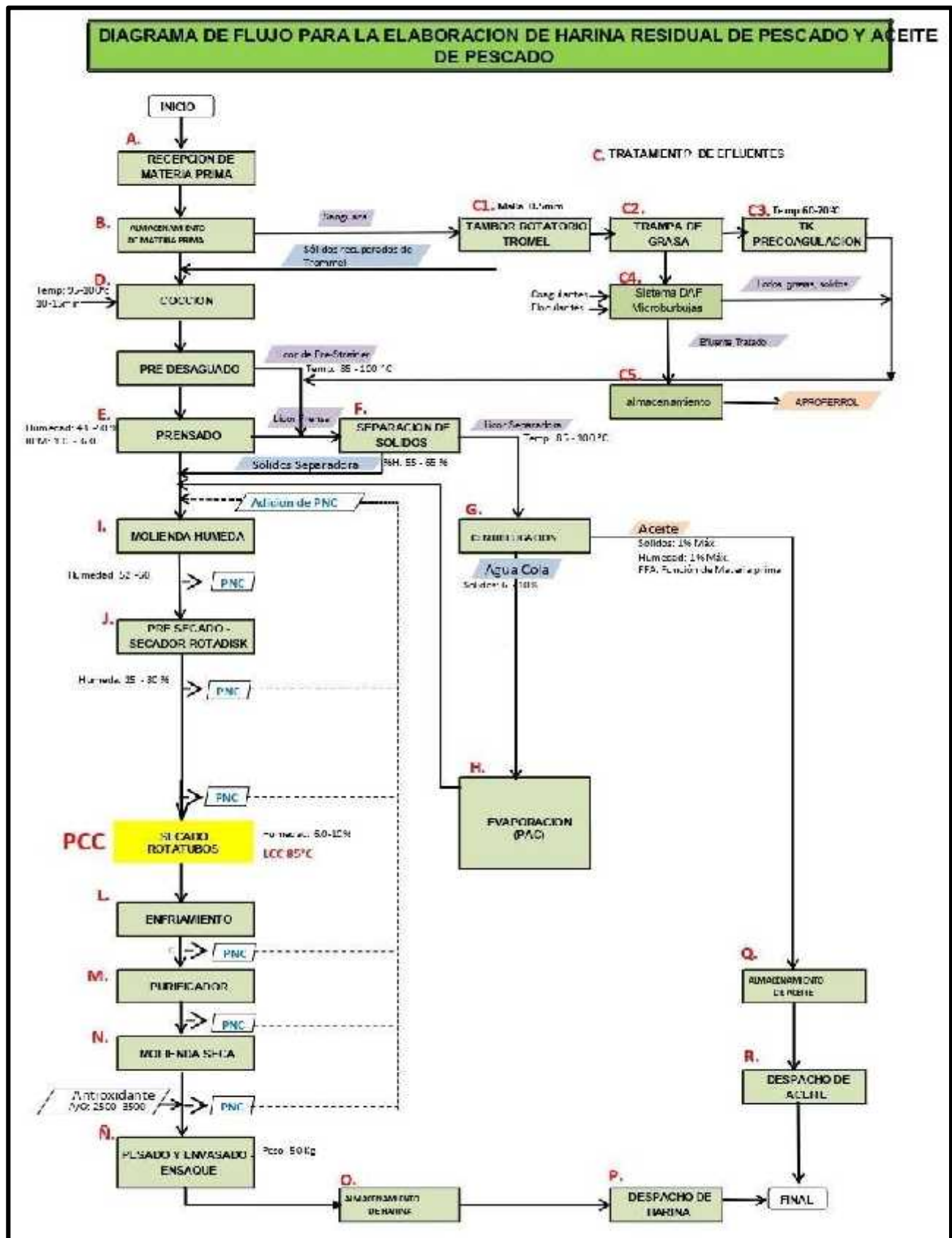
El pesaje es realizado mecánicamente, se encuentra en una zona cerrada para evitar la contaminación. Cada saco contiene 50 kg., con una diferencia de +/- 0.2 Kg. por saco.

Almacenamiento:

El almacenado se efectúa en ambientes debidamente acondicionados formando rumas, de acuerdo a las especificaciones contenidas en la Norma Técnica Peruana: “Almacenamiento de Harina de Pescado (INDECOPI)”. El piso del almacén es de una losa de concreto, flameada y desinfectada con cal. Además, la ruma será cubierta en su totalidad con fundas o mantas impermeables de polipropileno y la parte inferior de las rumas se colocarán parihuelas de madera para evitar la contaminación.

A continuación, se detalla en la Figura 2 el flujograma del proceso de elaboración de harina residual:

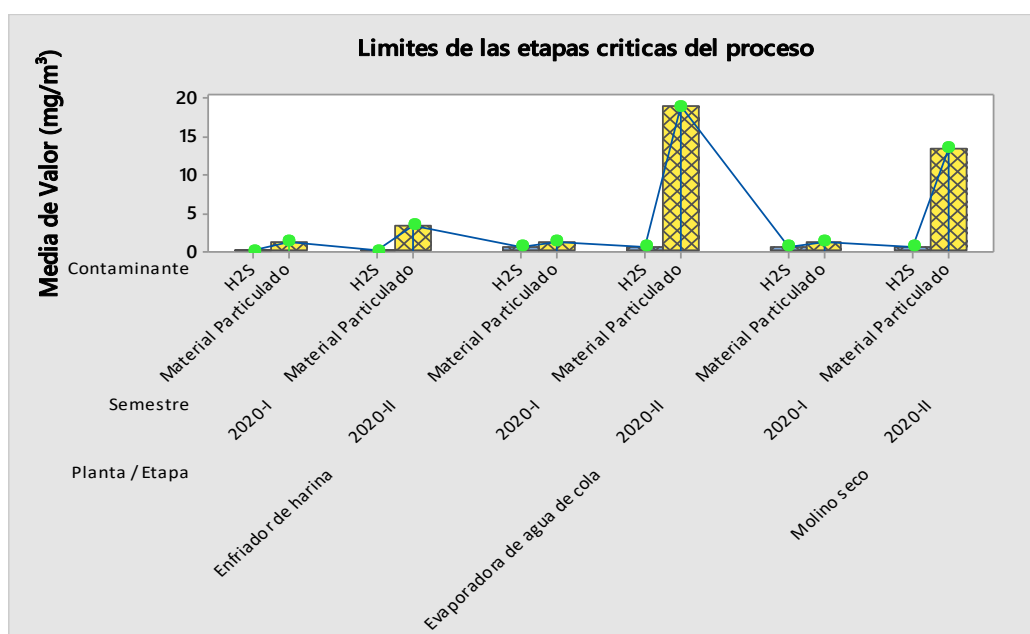
Figura 2. *Flujograma del proceso de elaboración de harina residual*



4.1.2. Concentración de material particulado y sulfuro de hidrógeno en el molino seco, la evaporadora de agua de cola y el enfriador de harina de pescado de la planta pesquera OP7 & BELL SAC

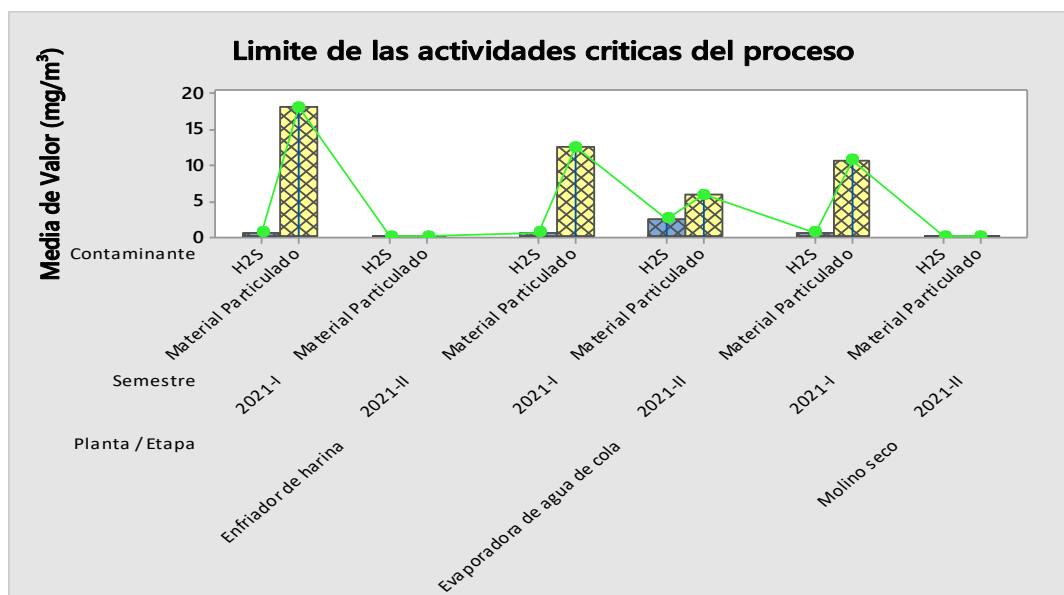
A continuación, se muestran los gráficos de material particulado y sulfuro de hidrógeno (H_2S) para los años 2020 a 2025. Las tablas correspondientes se muestran en el Anexo 1.

Figura 3. Concentraciones de material particulado y sulfuro de hidrógeno para tres etapas críticas del proceso de harina de pescado en la Planta OP7 & BELL SAC - Periodo 2020 I-II



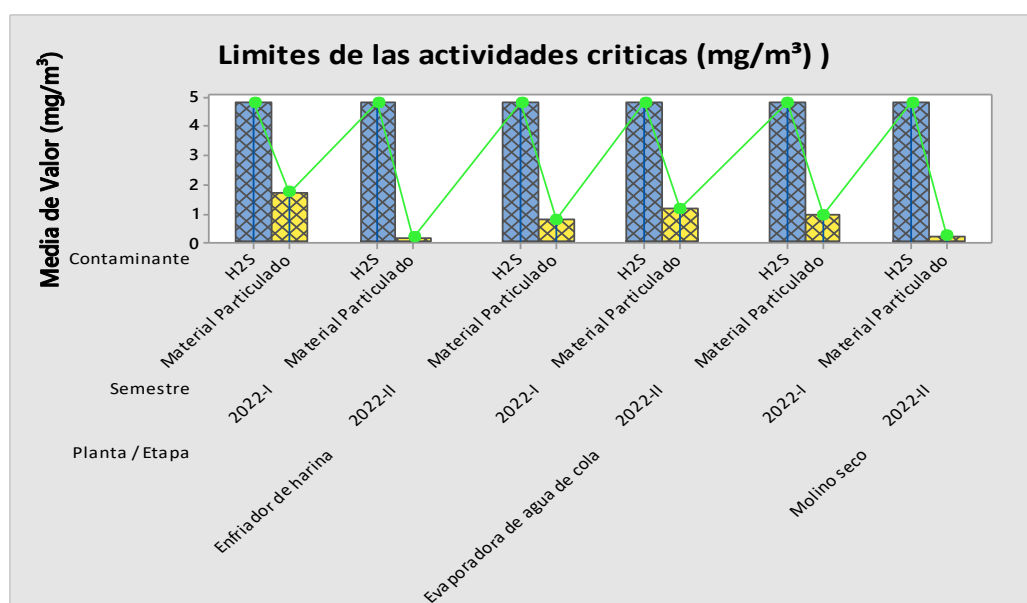
De la Figura 3 se observa que las concentraciones de material particulado y sulfuro de hidrógeno (H_2S) para la planta evaporadora de agua de cola, molino seco y enfriador de harina en los periodos 2020-I y 2020-II están por debajo de los límites máximos permitidos (LMP) para las emisiones de la industria de harina y aceite de pescado y harina de residuos hidrobiológicos (Decreto Supremo N° 011-2009-MINAM), el cual estipula 5 mg/m^3 para H_2S y 150 mg/m^3 para material particulado (MP).

Figura 4. Concentraciones de material particulado y sulfuro de hidrógeno para tres etapas críticas del proceso de harina de pescado en la Planta OP7 & BELL SAC - Periodo 2021 I-II



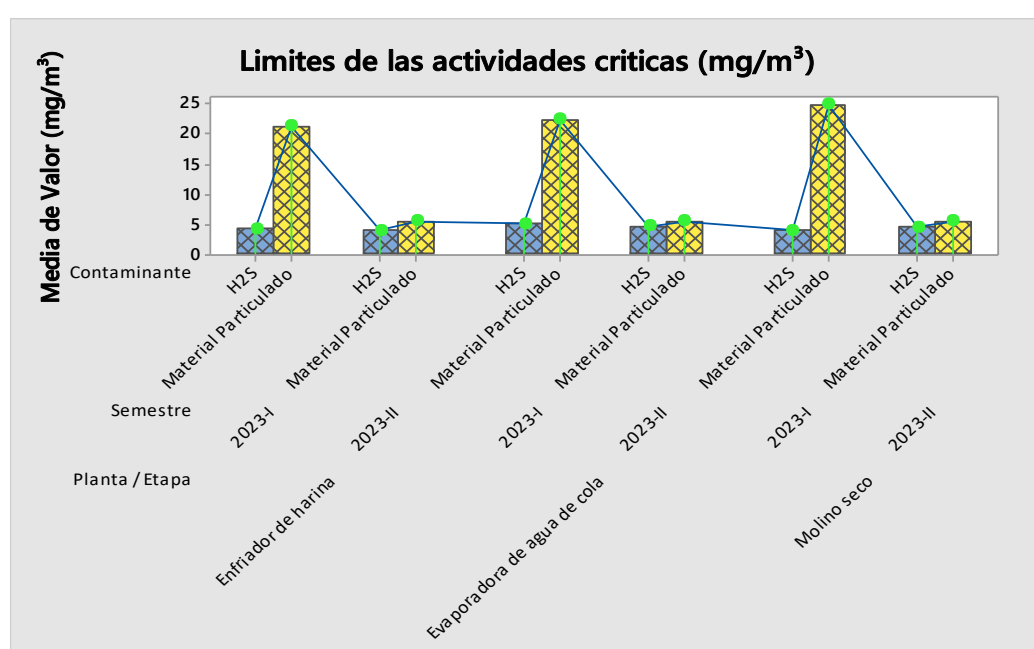
En base a la Figura 4 se aprecia que las concentraciones de material particulado y sulfuro de hidrógeno (H_2S) para la planta evaporadora de agua de cola, molino seco y enfriador de harina en los periodos 2021-I y 2021-II están por debajo de los LMP para las emisiones de la industria de harina y aceite de pescado y harina de residuos hidrobiológicos (DS N° 011-2009-MINAM), el cual estipula 5 mg/m^3 para H_2S y 150 mg/m^3 para material particulado (MP).

Figura 5. Concentraciones de material particulado y sulfuro de hidrógeno para tres etapas críticas del proceso de harina de pescado en la Planta OP7 & BELL SAC - Periodo 2022 I-II



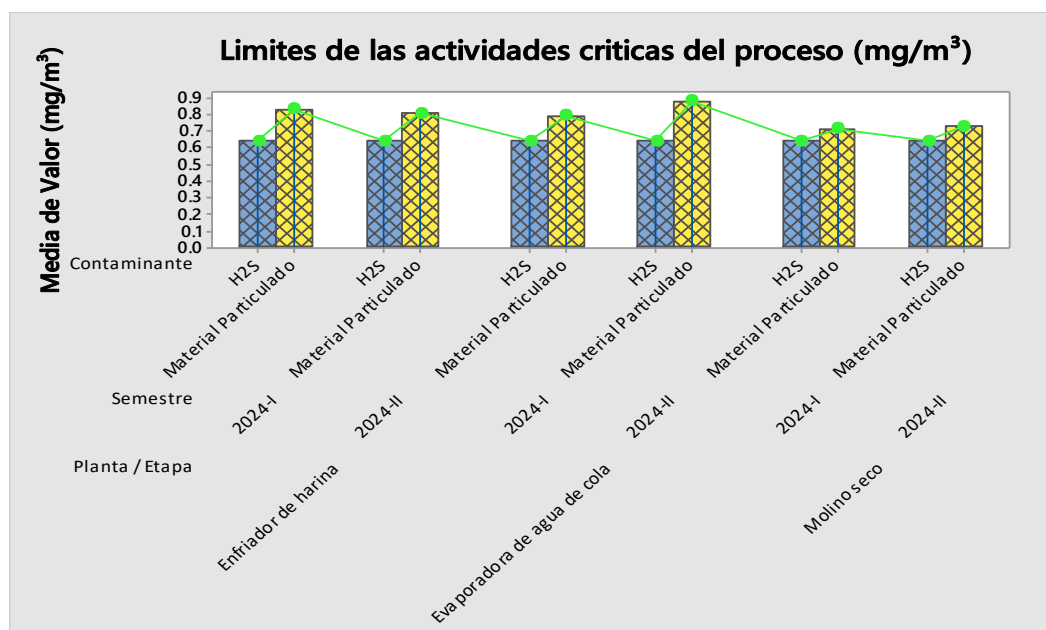
A partir de la Figura 5 se ha recabado que las concentraciones de material particulado y sulfuro de hidrógeno (H_2S) para planta evaporadora de agua de cola, molino seco y enfriador de harina en los periodos 2022-I y 2022-II están por debajo de los LMP para las emisiones de la industria de harina y aceite de pescado y harina de residuos hidrobiológicos (DS N° 011-2009-MINAM), el cual estipula 5 mg/m^3 para H_2S y 150 mg/m^3 para material particulado (MP).

Figura 6. Concentraciones de material particulado y sulfuro de hidrógeno para tres etapas críticas del proceso de harina de pescado en la Planta OP7 & BELL SAC - Periodo 2023 I-II



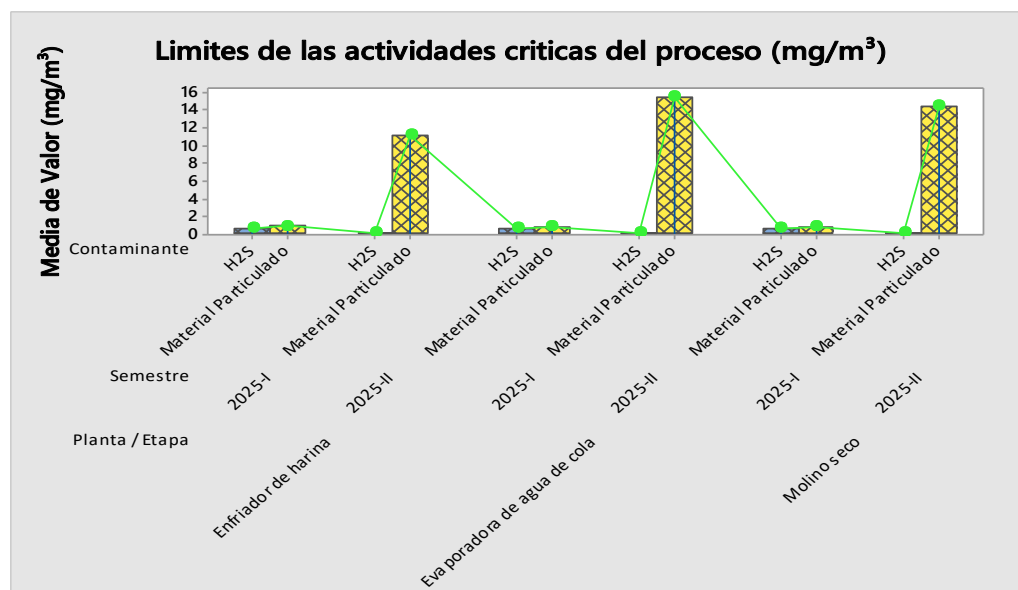
Apreciado la Figura 6 se observa que las concentraciones de material particulado y sulfuro de hidrógeno (H_2S) para la planta evaporadora de agua de cola, molino seco y enfriador de harina en los periodos 2023-I y 2023-II están por debajo de los LMP para las emisiones de la industria de harina y aceite de pescado y harina de residuos hidrobiológicos (DS N° 011-2009-MINAM), el cual estipula 5 mg/m^3 para H_2S y 150 mg/m^3 para material particulado (MP).

Figura 7. Concentraciones de material particulado y sulfuro de hidrógeno para tres etapas críticas del proceso de harina de pescado en la Planta OP7 & BELL SAC - Periodo 2024 I-II



Logra evidenciarse en la Figura 7 que las concentraciones de material particulado y sulfuro de hidrógeno (H_2S) para la planta evaporadora de agua de cola, molino seco y enfriador de harina en los periodos 2024-I y 2024-II están por debajo de los LMP para las emisiones de la industria de harina y aceite de pescado y harina de residuos hidrobiológicos (DS N° 011-2009-MINAM), el cual estipula 5 mg/m^3 para H_2S y 150 mg/m^3 para material particulado (MP).

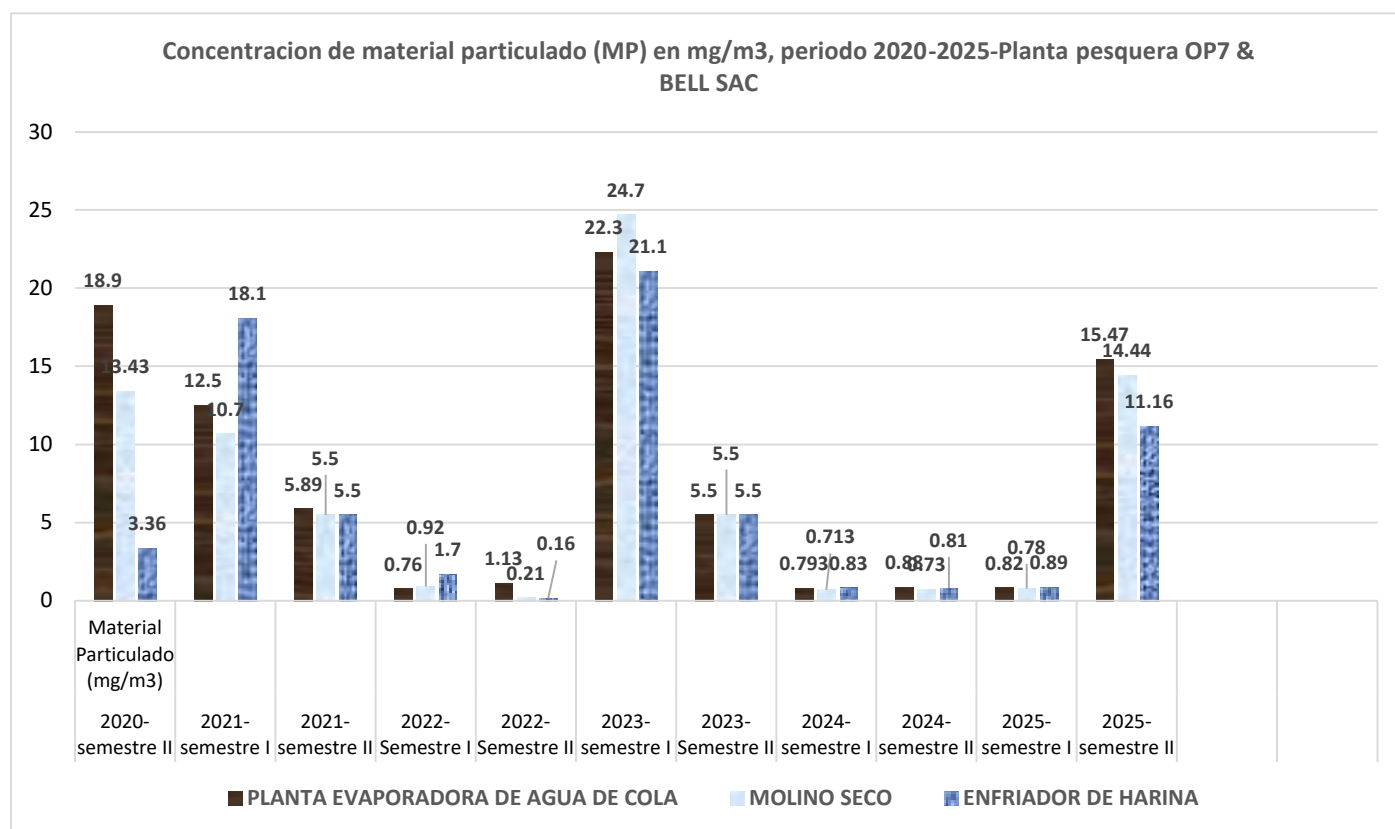
Figura 8. Concentraciones de material particulado y sulfuro de hidrógeno para tres etapas críticas del proceso de harina de pescado en la Planta OP7 & BELL SAC - Periodo 2025 I-II



Obsérvese a partir de la Figura 8 que las concentraciones de material particulado y sulfuro de hidrógeno (H₂S) para planta evaporadora de agua de cola, molino seco y enfriador de harina están por debajo de los LMP para las emisiones de la industria de harina y aceite de pescado y harina de residuos hidrobiológicos (DS N° 011-2009-MINAM), el cual estipula 5 mg/m³ para H₂S y 150 mg/m³ para material particulado (MP).

Ahora bien, si queremos establecer gráficos para la concentración de material particulado y sulfuro de hidrógeno, y así verificar incrementos o decrementos año a año en la Planta OP7 & BELL SAC, se muestran seguidamente las Figuras 9 y 10.

Figura 9. Concentraciones de material particulado (MP) para tres etapas críticas del proceso de harina de pescado en la Planta OP7 & BELL SAC - Periodos 2020-2025, semestres I y II

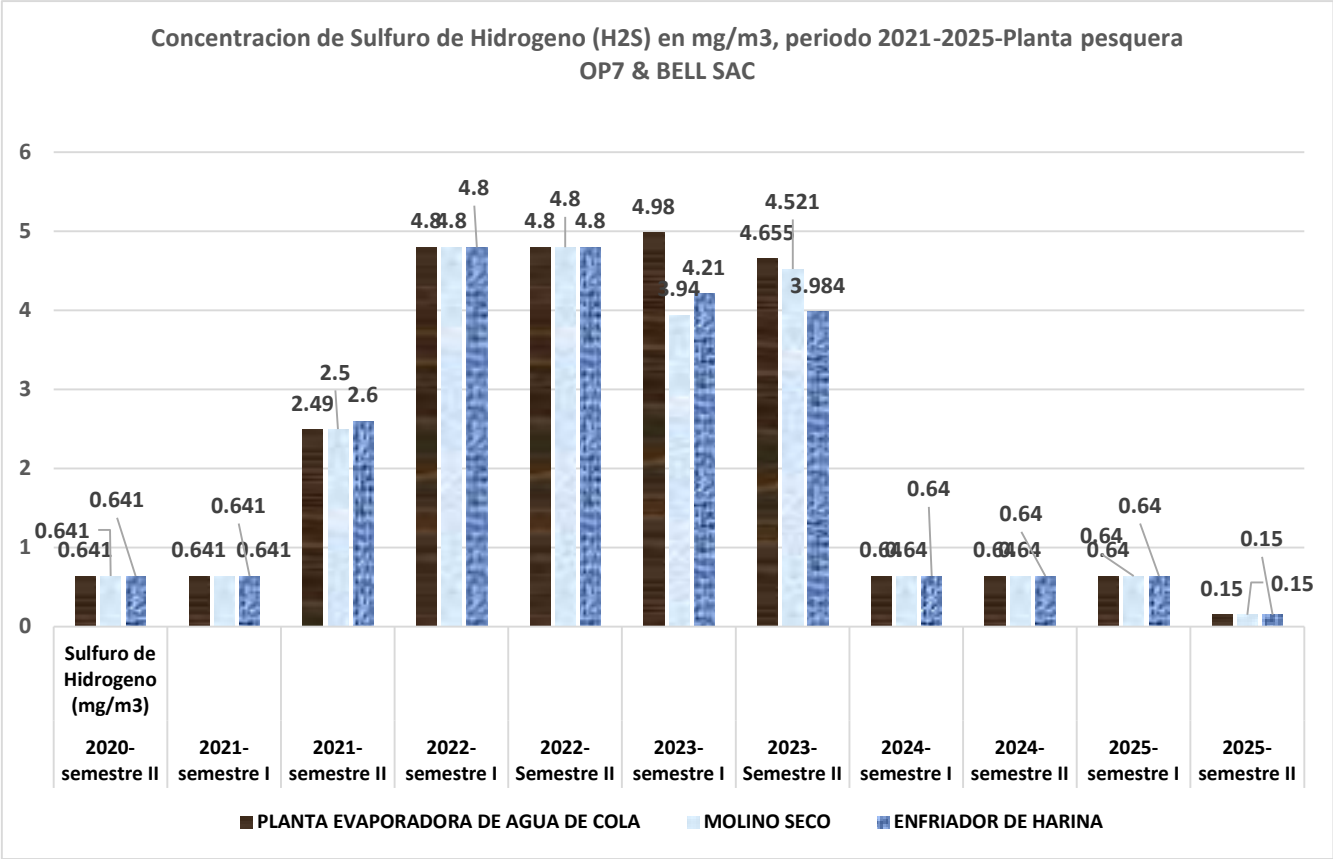


En la Figura 9 se identifica que, si bien las concentraciones de material particulado (MP) están por debajo de los LMP indicados en el DS N° 011-2009-MINAM (150 mg/m³), cuando comparamos año a año observamos que los valores de los semestres 2022-I y II, 2024-I y II y 2025-I están muy por debajo de los semestres 2020-II, 2021-I, 2023-I y 2025-II, los cuales son relativamente altos. Rápidamente podemos inducir que los residuos procesados en estos últimos periodos, si bien no superan los LMP nacionales, sí han generado sulfatos, nitratos, amoníaco que pueden causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Se verifica que los valores de MP en las fuentes puntuales de emisión como la planta evaporadora de agua de cola, molino seco y enfriador de harina son casi proporcionales, lo cual refleja la calidad en la medición de estos valores por un laboratorio acreditado.

No obstante, desde el punto de vista de las toneladas de harina de pescado producidas, es importante mencionar que los datos de MP para el año 2022 son bajos comparados con las toneladas producidas (1660.45 TM), mientras que los del año 2021 (476.56 T), 2023 (689.05 TM) y del 2025 (1193.75 TM) son producciones <1660.45, sin embargo, las

concentraciones de MP son elevadas. Es decir, las concentraciones de MP se elevan >95% en su valor cuando la producción de harina de pescado es menor que la del año 2022 y 2024. Entonces aquí ingresa a tallar la calidad de la materia prima (residuos de pescado) que se utiliza para obtener la harina. En efecto, una harina con mayor tiempo de almacenamiento temporal, antes de su ingreso al proceso, origina mayor descomposición y genera aminos biogénicos como histamina, cadaverina, putrescina y otros que se cuantificaran en los valores de MP.

Figura 10. Concentraciones de sulfuro de hidrogeno (H_2S) para tres etapas críticas del proceso de harina de pescado en la Planta OP7 & BELL SAC - Periodos 2020-2025, semestres I y II



En la Figura 10, si bien en general las concentraciones de sulfuro de hidrógeno (H_2S) están por debajo de los LMP indicados en el DS N° 011-2009-MINAM (5 mg/m^3), existe un semestre que ha estado al límite. Nos referimos al semestre 2022-I, semestre 2022-II, 2023-I y II con valores de 4.98 mg/m^3 para las fuentes puntuales de emisión como la planta evaporadora de agua de cola, el molino seco y el enfriador de harina. En estos semestres el promedio de la producción de harina de pescado fue de 1660.45 TM y la

calidad de esta materia prima ha sido de bajo valor con incrementos de histamina, cadaverina, putrescina y otras aminas biogénicas.

En cambio, para los años 2021, 2024 y 2025, si bien las TM de harina de pescado obtenidas han sido menores, su calidad ha sido alta y esto se reflejó en los valores de H₂S obtenidas para las tres fuentes puntuales de emisión.

4.1.3. Evaluación estadística de los niveles de material particulado y sulfuro de hidrógeno con la producción de harina residual en la planta pesquera OP7 & BELL SAC

Primero evaluamos en la Tabla 12 los datos de producción del periodo 2020-2025 y las concentraciones promedio de material particulado y sulfuro de hidrogeno en mg/m³.

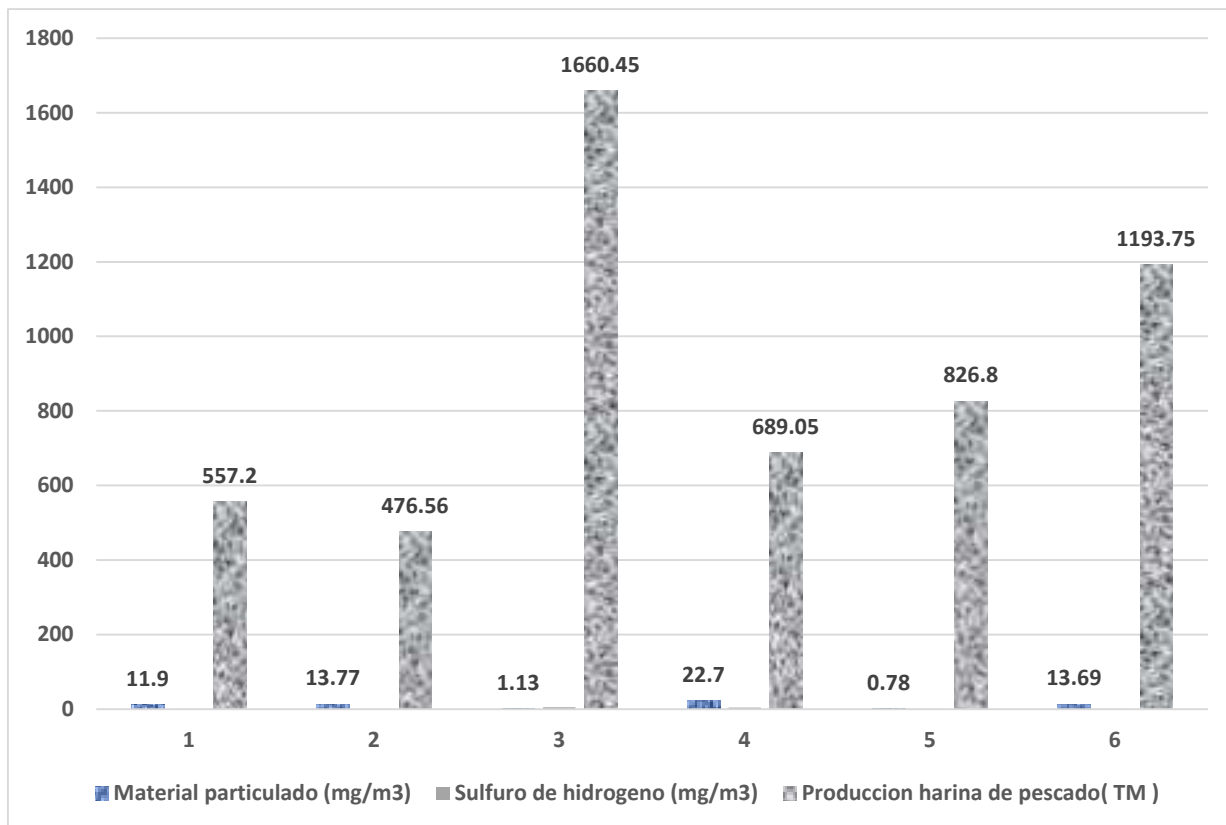
Tabla 12. *Producción de harina de pescado residual y concentración de material particulado y sulfuro de hidrógeno en la empresa OP7 & BELL SAC, periodo 2020-2025*

AÑO	Material particulado (mg/m ³)	Sulfuro de hidrogeno (mg/m ³)	Producción de harina de pescado (TM)
2020	11.9	0.64	557.2
2021	13.77	0.64	476.56
2022	1.13	4.8	1660.45
2023	22.7	4.38	689.05
2024	0.78	0.64	826.8
2025	13.69	0.64	1193.75

Nota: Datos provenientes del Anexo (Tablas 1 y 2)

En esta Tabla 12 y en la posterior Figura 11 se observan datos que corresponden a la producción de harina de pescado y la concentración promedio de material particulado y sulfuro de hidrógeno para tres fuentes puntuales de emisión en la producción de harina de pescado residual: planta evaporadora de agua de cola, molino seco y enfriador de harina. Lo que se quiere averiguar es determinar si hay relación directa o indirecta entre la producción de harina y las concentraciones de MP y H₂S, y en función a ello verificar si las que influyen en esos valores son la calidad de la materia prima utilizada o la tecnología involucrada en esas tres etapas críticas del proceso productivo.

Figura 11. Relación entre la producción de harina de pescado y las concentraciones de material particulado y sulfuro de hidrógeno, periodo 2020-2025



Primero, se verificó si los valores de la producción de harina de pescado y las concentraciones de material particulado siguen una distribución normal, planteándose las siguientes hipótesis:

Ho: Los datos de concentración de MP y producción de harina de pescado siguen una distribución normal.

H1: Los datos de concentración de MP y producción de harina de pescado no siguen una distribución normal.

Si p-valor < 0.05 Se rechaza la Ho

Si p-valor > 0.05 se acepta Ho y se rechaza H1

Si se obtiene una distribución normal se utilizará la hipótesis de correlación siguiente:

Ho: No existe una correlación entre producción de harina de pescado y los datos de concentración de MP.

H1: Existe una correlación entre producción de harina de pescado y los datos de concentración de MP.

Tabla 13. Prueba de normalidad para producción de harina (TM) y material particulado (MP)

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Producción harina pescado (TM)	,232	6	,200*	,896	6	,353
Material Particulado (mg/m ³)	,225	6	,200*	,896	6	,348

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

En la Tabla 13 se utiliza el estadístico de Shapiro-Wilk, dado que tenemos datos $n < 50$ y según ello el $p > 0.05$ para ambas variables; por tanto, se acepta H_0 y se rechaza H_1 , es decir ambas variables, producción de harina de pescado y concentración de MP, siguen una distribución normal. Ahora, se utilizará la correlación de Pearson para evaluar el grado de intensidad de la correlación entre ambas variables.

Tabla 14. Correlaciones entre producción de harina (TM) y material particulado (MP)

		Material Particulado (mg/m ³)	Producción harina pescado (TM)
Material Particulado (mg/m ³)	Correlación de Pearson	1	-,524
	Sig. (bilateral)		,286
	N	6	6
Producción harina pescado (TM)	Correlación de Pearson	-,524	1
	Sig. (bilateral)	,286	
	N	6	6

Según la correlación de Pearson $p > 0.05$, es decir se acepta H_0 y por tanto no existe correlación entre las variables producción de harina de pescado y la concentración de material particulado. El valor de Pearson de -0.524 nos indica una relación inversa con una correlación negativa moderada.

Ahora bien, para el análisis de la otra variable, sulfuro de hidrógeno (H_2S), se plantearon las siguientes hipótesis:

H_0 : Los datos de concentración de H_2S y producción de harina de pescado siguen una distribución normal.

H_1 : Los datos de concentración de H_2S y producción de harina de pescado no siguen una distribución normal.

Si $p\text{-valor} < 0.05$ Se rechaza la H_0

Si $p\text{-valor} > 0.05$ se acepta H_0 y se rechaza H_1

Si se obtiene una distribución normal se utilizará la hipótesis de correlación siguiente:

H_0 : No existe una correlación entre producción de harina de pescado y los datos de concentración de H_2S .

H_1 : Existe una correlación entre producción de harina de pescado y los datos de concentración de H_2S .

Tabla 15. Prueba de normalidad para producción de harina (TM) y sulfuro de hidrógeno (H_2S)

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Producción harina pescado (TM)	,232	6	,200*	,896	6	,353
Sulfuro de Hidrógeno (mg/mg ³)	,407	6	,002	,664	6	,003

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

En la Tabla 15 se utilizó el estadístico de Shapiro-Wilk dado que tenemos datos $n < 50$ y según ello, el $p > 0.05$ para la variable producción de harina de pescado y $p < 0.05$ para la

variable sulfuro de hidrogeno, por tanto, se rechaza H_0 y se acepta H_1 , es decir, ambas variables, producción de harina de pescado y concentración de sulfuro de hidrógeno, no siguen una distribución normal, pero si existe una correlación entre producción de harina de pescado y los datos de concentración de H_2S . Ahora, se utilizará el coeficiente de correlación de Spearman (variable no paramétrica) para evaluar el grado de intensidad de la correlación entre ambas variables.

Tabla 16. *Correlaciones entre producción de harina (TM) y sulfuro de hidrógeno (H_2S)*

		Producción harina pescado (TM)	Sulfuro de Hidrógeno (mg/mg ³)
Rho de Spearman	Producción harina pescado (TM)	1,000	,507
	Coeficiente de correlación		
	Sig. (bilateral)	.	,305
	N	6	6
Sulfuro de Hidrógeno (mg/mg ³)	Producción harina pescado (TM)	,507	1,000
	Coeficiente de correlación		
	Sig. (bilateral)	,305	.
	N	6	6

Según el coeficiente de correlación de Spearman, $p > 0.05$, para ambas variables, es decir se acepta H_0 y por tanto no existe correlación entre las variables producción de harina de pescado y la concentración de sulfuro de hidrógeno. El valor de Pearson de 0.507 nos indica una relación directa entre la producción de harina de pescado y la emisión de sulfuro de hidrogeno, con una correlación positiva moderada.

4.2. DISCUSIÓN

4.2.1. Discusión de Resultados del Objetivo Específico N°01

El diagnóstico del proceso productivo permitió identificar las principales etapas en la elaboración de harina residual, destacando operaciones como la recepción de materia prima, secado, molienda, enfriamiento y almacenamiento. A partir del análisis del flujograma del proceso productivo, se determinó que las etapas con mayor potencial de generación de emisiones contaminantes corresponden al molino seco, la evaporadora de agua de cola y el enfriador de harina, las cuales constituyen fuentes puntuales de emisión de material particulado (MP) y sulfuro de hidrógeno (H_2S) dentro del sistema productivo de la planta pesquera. Estos puntos son fundamentales porque en ellos ocurren procesos de transferencia de calor y reducción mecánica que facilitan la liberación de partículas y gases. Esta identificación coincide con lo planteado por Contreras (2011), quien señala que los procesos de secado y los vapores con alta concentración de gases son la fuente principal de contaminación olorosa en el sector

Estas etapas de producción se caracterizan por involucrar procesos mecánicos y térmicos que facilitan la liberación de partículas finas y compuestos gaseosos hacia la atmósfera. En particular, la etapa de molienda seca genera partículas finas de harina debido al impacto mecánico del molino de martillos, mientras que en el enfriamiento y la evaporación se liberan gases producto de la descomposición de la materia orgánica presente en los residuos hidrobiológicos. Asimismo, en la etapa de secado (secadores Rotadisk y Rotatubos) la materia prima pierde humedad y, si no existe un control adecuado, se liberan aminas biogénicas y material particulado. Todo lo antes descrito coincide con lo señalado en el marco teórico, donde se menciona que los procesos industriales de transformación de productos pesqueros constituyen una fuente importante de emisión de material particulado y gases contaminantes.

Además, los resultados del diagnóstico evidencian que estas fuentes de emisión están asociadas a operaciones críticas del proceso productivo, por lo que cualquier variación en la calidad de la materia prima o en las condiciones operativas puede influir directamente en la generación de contaminantes atmosféricos. Esto coincide con investigaciones previas sobre procesos industriales pesqueros, como las de Galarreta (2019) y Tijero (2022), las cuales indican que la manipulación, molienda y secado de residuos hidrobiológicos generan emisiones de partículas y compuestos gaseosos (como los sulfurados) que pueden afectar la calidad del aire si no se aplican controles adecuados.

De esta forma, el diagnóstico del proceso productivo constituye una base técnica importante para implementar medidas de prevención y mitigación de contaminantes atmosféricos en la industria pesquera.

4.2.2. Discusión de Resultados del Objetivo Específico N°02

Los resultados del monitoreo realizado durante el periodo 2020-2025 revelan que las concentraciones de material particulado (MP) y sulfuro de hidrógeno (H_2S) se mantuvieron consistentemente por debajo de los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el Decreto Supremo N° 011-2009-MINAM. Para el H_2S , el valor máximo permitido es de 5 mg/m³, mientras que para el MP es de 150 mg/m³. En todos los semestres analizados, la planta operó dentro de la legalidad ambiental vigente en el Perú.

Al contrastar estos datos con antecedentes locales, se observa una tendencia similar a la hallada por Galarreta (2019) y Ramírez (2021), cuyos estudios en Chimbote y distritos aledaños también reportaron valores por debajo de los límites permitidos en Perú. Esto sugiere que, a pesar de la percepción histórica de Chimbote como una ciudad altamente contaminada por la pesca, las plantas que han implementado sistemas de mitigación modernos están logrando controlar sus emisiones puntuales de manera efectiva.

No obstante, en cuanto al material particulado, se aprecia que los valores de los semestres 2022-I y 2024-I están muy por debajo de los semestres 2020-II, 2021-I, 2023-I y 2025-I, de modo que los residuos procesados en estos últimos periodos, si bien no superan los LMP en nuestro país, han generado sulfatos, nitratos, amoníaco que pueden causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente.

De igual forma, en cuanto al sulfuro de hidrógeno, un hallazgo preocupante ocurrió en el semestre 2022-I, donde el H_2S alcanzó un valor de 4.8 mg/m³ en las tres fuentes de emisión evaluadas, así como los valores elevados obtenidos en el semestre 2023-I, donde destaca el valor de 4.98 mg/m³ en la planta evaporadora de agua de cola, situándose peligrosamente cerca del límite legal de 5 mg/m³. Estos picos demuestran que, aunque los promedios en general son favorables, existen periodos de vulnerabilidad operativa que requieren atención inmediata, debiendo tenerse en cuenta la relación de estos altos valores con la calidad de la materia prima. Para los años 2021, 2024 y 2025, si bien las toneladas de harina de pescado obtenidas han sido menores, su calidad ha sido alta y esto se reflejó en los bajos valores de H_2S obtenidos para las tres fuentes de emisión evaluadas.

4.2.3. Discusión de Resultados del Objetivo Específico N°03

El análisis estadístico mediante las pruebas de Pearson y Spearman arrojó como resultado que no existe una correlación significativa entre el volumen de producción de harina y la concentración de contaminantes. Esto significa que producir más toneladas de harina no necesariamente implica emitir más MP o H₂S. Este hallazgo es crucial porque se opone a la idea de que el crecimiento productivo es directamente proporcional al daño ambiental en fuentes puntuales controladas.

Este resultado sugiere que el incremento o disminución de la producción de harina residual no determina necesariamente el aumento de las emisiones de material particulado. En efecto, durante el año 2022 se registró la mayor producción de harina residual (1660.45 TM), pero los niveles de material particulado fueron relativamente bajos en comparación con otros años con menor producción.

A propósito, el análisis de los datos sugiere que la variabilidad de las emisiones está más relacionada con factores como la calidad de la materia prima, el tiempo de almacenamiento de los residuos y las condiciones del proceso industrial. Los residuos con mayor grado de descomposición generan compuestos químicos como histamina, cadaverina y putrescina, los cuales pueden incrementar las emisiones de partículas y gases durante el procesamiento. En efecto, la materia prima con mayor tiempo de almacenamiento o mayor descomposición genera más aminas biogénicas y partículas durante el procesamiento, independientemente del tonelaje total.

En consecuencia, los resultados evidencian que las emisiones atmosféricas en este tipo de industria no dependen únicamente del volumen de producción, sino también de la calidad de los residuos hidrobiológicos y del manejo operativo del proceso. Este análisis nos lleva a reconsiderar la hipótesis inicial de la investigación, la cual planteaba una relación positiva entre el aumento de contaminantes y la producción de harina de pescado. Sin perjuicio de ello, los resultados nos permiten reafirmar la importancia de implementar controles de calidad en la materia prima y optimizar las condiciones del proceso productivo para minimizar las emisiones contaminantes, más allá del control de las cantidades de producción.

4.2.4. Discusión de Resultados del Objetivo Específico N°04

A partir de los resultados obtenidos en la investigación, se identificó la necesidad de implementar estrategias orientadas a mejorar el control de emisiones en las etapas críticas

del proceso productivo. Entre las principales medidas propuestas se incluyen el mantenimiento periódico de los sistemas de filtración, la optimización de los equipos de molienda y enfriamiento, así como el control del tiempo de almacenamiento de la materia prima antes de su procesamiento.

Estas estrategias se sustentan en el hecho de que la variabilidad en las concentraciones de material particulado y sulfuro de hidrógeno está asociada principalmente a factores operativos y a la calidad de los residuos hidrobiológicos. Por ello, el mantenimiento preventivo de equipos como mangas filtrantes, mallas del molino y sistemas de enfriamiento constituye una medida fundamental para evitar la liberación excesiva de partículas y gases hacia la atmósfera. Se trata de una respuesta técnica coherente con el principio de prevención establecido en la Ley General del Ambiente.

Una de las estrategias más innovadoras es la exigencia de materia prima fresca con índices de TVN menores a 50 ppm. Como se discutió previamente, la calidad del residuo es el factor determinante de las emisiones. Al establecer este estándar de calidad para los proveedores (propios o terceros), la planta reduce drásticamente la generación de malos olores y partículas desde el origen del proceso, lo cual mejora no solo el desempeño ambiental sino también la eficiencia del producto final.

Asimismo, la mejora en los sistemas de control del proceso productivo permitirá optimizar la eficiencia ambiental de la planta, reduciendo la generación de contaminantes y garantizando el cumplimiento permanente de la normativa ambiental vigente, más aún con la asignación de responsabilidades claras al jefe de planta y jefe de mantenimiento, lo cual asegura que la gestión ambiental sea una tarea cotidiana y no solo una respuesta a las auditorías de entes como el OEFA. Estas acciones se alinean con los principios de prevención y responsabilidad ambiental establecidos en la legislación ambiental peruana, los cuales promueven la adopción de medidas orientadas a evitar o minimizar la degradación ambiental en nuestro país.

4.2.5. Discusión de Resultados del Objetivo General

Los resultados obtenidos en la investigación dan cuenta de que las concentraciones de material particulado y sulfuro de hidrógeno generadas durante el proceso de producción de harina residual se mantienen, en general, dentro de los límites máximos permisibles establecidos por la normativa ambiental peruana. Esto indica que la planta pesquera

evaluada cumple con los estándares regulatorios vigentes, lo cual representa un indicador positivo en términos de gestión ambiental industrial.

Sin embargo, el análisis comparativo entre los niveles de emisiones y la producción de harina residual permitió determinar que no existe una relación directa significativa entre las variables. Al integrar todos los hallazgos, se evidencia que la relación entre el material particulado, el sulfuro de hidrógeno y la producción de harina residual en la empresa OP7 & BELL SAC es de carácter indirecto. La correlación negativa moderada obtenida para el material particulado indica que el incremento en la producción no necesariamente implica un aumento en las emisiones, lo que sugiere que otros factores influyen en la generación de contaminantes atmosféricos durante el proceso productivo.

Entre estos factores destacan principalmente la calidad de la materia prima utilizada y el tiempo de almacenamiento de los residuos hidrobiológicos antes de su procesamiento. Los residuos con mayor grado de descomposición generan compuestos orgánicos que pueden incrementar la liberación de partículas y gases sulfurados durante las etapas de evaporación, molienda y enfriamiento. Por lo tanto, la gestión adecuada de la materia prima resulta fundamental para minimizar las emisiones contaminantes.

En síntesis, la investigación demuestra que, si bien existe una interacción entre el proceso productivo y la generación de emisiones atmosféricas, dicha relación está condicionada por variables operativas y de calidad de materia prima más que por el volumen de producción en sí mismo. Este hallazgo resalta la importancia de fortalecer los programas de control ambiental y gestión de procesos en la industria pesquera.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

General:

- No existe una relación estadística directa entre el volumen de producción de harina residual y el aumento de las concentraciones de material particulado y sulfuro de hidrógeno en la planta OP7 & BELL SAC, en tanto que las emisiones dependen principalmente de la calidad y frescura de la materia prima procesada, así como la logística y maquinaria utilizada en el proceso productivo.

Específicas:

- El diagnóstico del proceso productivo permitió identificar que las etapas más críticas en la generación de emisiones de material particulado y sulfuro de hidrógeno en la planta pesquera OP7 & BELL SAC son la evaporadora de agua de cola, el molino seco y el enfriador de harina, debido a que en estas operaciones se realizan procesos térmicos y mecánicos que favorecen la liberación de partículas y gases contaminantes.
- Las mediciones realizadas durante el periodo 2020-2025 evidenciaron que las concentraciones de material particulado y sulfuro de hidrógeno en las tres etapas evaluadas se mantienen por debajo de los límites máximos permisibles establecidos en el Decreto Supremo N° 011-2009-MINAM, lo cual indica que la planta cumple con la normativa ambiental vigente en el Perú.
- La comparación estadística mediante las pruebas de Pearson y Spearman reveló una correlación negativa moderada para el MP y una correlación positiva moderada para el H₂S respecto a la producción de harina de pescado, pero sin alcanzar niveles de significancia, lo que significa que el tonelaje de harina de pescado producido no es el factor determinante de la contaminación emitida.
- Se formuló una matriz de estrategias de gestión que prioriza el control de la materia prima (TVN <50 ppm) y el mantenimiento preventivo mensual de los equipos de mitigación y producción como la ruta más eficiente para asegurar el desarrollo sostenible de la actividad pesquera de la planta OPE7 & BELL SAC.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la empresa OP7 & BELL SAC implementar un protocolo estricto de recepción de materia prima para mejorar el control de la calidad de la materia prima utilizada en la producción de harina residual, evitando el procesamiento de residuos con altos niveles de descomposición que puedan incrementar la generación de emisiones contaminantes.
- Se recomienda a la empresa OP7 & BELL SAC establecer un calendario estricto de mantenimiento preventivo para las mangas filtrantes del molino seco y del enfriador de harina, asegurando que la eficiencia de retención de partículas finas no disminuya por saturación de los equipos.
- Se recomienda a la empresa OP7 & BELL SAC evaluar la instalación de sensores de monitoreo continuo para H₂S en los puntos críticos, especialmente durante los periodos de alta producción similares al 2022, para así actuar de forma inmediata antes de que las emisiones rocen los límites máximos permisibles.
- Se recomienda a la empresa OP7 & BELL SAC desarrollar programas de capacitación ambiental continuos dirigidos a todo el personal, en especial los que intervienen en el proceso de producción de harina de pescado, orientados a fortalecer las buenas prácticas operativas y la gestión ambiental en el manejo de residuos hidrobiológicos.
- Se recomienda al Ministerio del Ambiente del Perú emitir, previa delegación de facultades aprobada por el Congreso de la República, un decreto supremo que establezca expresamente, a partir de previos estudios técnicos y científicos, distintos límites de inmisión más pertinentes y acordes a normas internacionales para mezclas de sustancias de olores ofensivos, siendo una de ellas el sulfuro de hidrógeno (H₂S).

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia de Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades de los Estados Unidos. (2014). *Resumen de salud pública: ácido sulfhídrico (sulfuro de hidrógeno)*. ATSDR. https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs114.pdf
- Alvarado Alba, R. y Puyol Guevara, D. (2020). *Estudio comparativo de material particulado sedimentable y volátil, de los sectores Calpi y el barrio Los Pinos del Cantón Riobamba* [Tesis para obtener el título de ingeniero ambiental, Benemérita Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/7218>
- Anglés Hernández, M., Rovalo Otero, M. y Tejado Gallegos, 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 Suárez, 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>
- Arteaga Llacza, P. (2018). *Determinación de las fuentes de emisión del material particulado en el Valle del Mantaro mediante el análisis de componentes principales (ACP)* [Tesis de maestría en ingeniería ambiental, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6146>
- Barrientos Paytan, A. y Espinoza Ancalle, E. (2021). *Evaluación de la calidad del aire por la emisión de material particulado en la construcción de pistas y veredas del jirón Odonovan–Huancavelica, 2021* [Tesis para optar por el título de ingeniero ambiental y sanitario, Universidad Nacional de Huancavelica]. <https://repositorio.unh.edu.pe/items/690cd59b-072d-4eab-9bb3-e008d2f22874>
- Benites Vela, E. y García Arce, A. (2020). *Evaluación de la calidad de aire por CO y H₂S en las intersecciones con mayor flujo vehicular del “Sector Cercado”, en la ciudad de Tarapoto para implementar un plan de monitoreo y control como propuesta de gestión para la municipalidad provincial de San Martín* [Tesis para obtener el título profesional de ingeniero ambiental, Universidad Peruana Unión]. <http://200.121.226.32:8080/handle/20.500.12840/3372>

- Buitrago Moreno, A. y Tejeiro Mahecha, J. (2019). Influencia de las condiciones meteorológicas en la concentración de PST y PM10 en inmediaciones de la Universidad Santo Tomás sede Loma Linda [Tesis para optar por el título de ingeniero ambiental, Universidad Santo Tomás]. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/15598/2019migueltejeiro?sequence=6&isAllowed=y>
- Canales Manchuria, 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>
- Canturín Quintana, E. (2019). *Concentración de Material Particulado respirable (PM10) en av. Nauta - Callao* [Tesis para obtener el título profesional de ingeniero ambiental, Universidad Tecnológica de Lima Sur]. <http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/181>
- Carbajal Sedano, 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 Cascales, 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>
- De la Cruz Grandez, D. (2021). *Material Particulado (PM10 y PM2.5) para el Análisis de riesgos en la salud de comerciantes del Mercado III Huaico Tarapoto - 2020* [Tesis título profesional de ingeniero ambiental, Universidad Nacional César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/63853>
- Decreto Supremo N°003-2017-MINAM. (07 de junio de 2017). Poder Ejecutivo. 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). Poder Ejecutivo. Diario Oficial El Peruano. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/per91098.pdf>
- Díaz Saavedra, 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>
- Flores, J., López, S. y Albert, L. (1995). *La contaminación y sus efectos en la salud y el ambiente*. Centro de Ecología y Desarrollo.
- Fuzzi, S., Baltensperger, U., Carslaw, K., Decesari, S., Denier van der Gon, H., Facchini, M. C., Fowler, D., Koren, I., Langford, B., Lohmann, U., Nemitz, E., Pandis, S., Riipinen, I., Rudich, Y., Schaap, M., Slowik, J. G., Spracklen, D. V., Vignati, E., Wild, M., Williams, M., y Gilardoni, S. (2015). Particulate matter, air quality and climate: Lessons learned and future needs [Partículas, calidad del aire y clima: lecciones aprendidas y necesidades futuras]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15(14), 8217-8299. <https://doi.org/10.5194/acp-15-8217-2015>
- Galarreta González, 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>
- Garcés Giraldo, L. y Hernández Ángel, M. (2004). La lluvia ácida: un fenómeno fisicoquímico de ocurrencia local. *Revista Lasallista de Investigación*, 1(2), 67-72. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69510211>
- García Gutiérrez, F. (2020). *Determinación de la calidad del ambiente, mediante el monitoreo ambiental en la zona de concesión de Electro Tocache - 2019* [Tesis para para obtener el título profesional de ingeniero ambiental, Universidad Nacional de San Martín]. <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/4402>
- Gavilanes Bravo, R. y Gavilanes Bravo, J. (2018). *Evaluación del material particulado de las terminales terrestres intercantonales e interprovincial de la ciudad de Riobamba* [Tesis para obtener el título profesional de ingeniero en biotecnología]

ambiental, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
<http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/8940>

- Ghose, M. y Majee, S. (2000). Assessment of the impact on the air environment due to opencast coal mining an Indian case study [Evaluación del impacto en el medio ambiente debido a la minería del carbón a cielo abierto: un estudio de caso indio]. *Atmospheric Environment*, 34, 2791-2796. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00302-7](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00302-7)
- Gotor, C. (2020). *Sulfuro de hidrógeno: una molécula esencial para la vida*. SEBBM. http://dx.doi.org/10.18567/sebbmdiv_ANC.2020.05.1
- Guevara, G., Verdesoto, A. y Castro, N. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *RECIMUNDO*, 4(3), 163-173. <https://bit.ly/3vcM3Hs>
- Gutiérrez Acaballo, C. y Daza Guerra, O. (2020). *Evaluación de la calidad del aire mediante el monitoreo del material particulado pm10 y pm2.5 en el centro urbano del cantón Saquisilí, provincia de Cotopaxi, periodo 2019 – 2020* [Tesis para obtener el título profesional de ingeniero en medio ambiente, Universidad Técnica de Cotopaxi]. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6778>
- 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>
- Instituto Nacional de Calidad. (2017). *Directriz para la validación de métodos de ensayo*. INACAL. [https://www.inacal.gob.pe/repositorioaps/data/1/1/4/jer/documentosespecificos/files/Directrices%2FDA-acr-20D-DIRECTRIZ.PARA.LA.VALIDACION.DE.METODOS.DE.ENSAYO\(1\).pdf](https://www.inacal.gob.pe/repositorioaps/data/1/1/4/jer/documentosespecificos/files/Directrices%2FDA-acr-20D-DIRECTRIZ.PARA.LA.VALIDACION.DE.METODOS.DE.ENSAYO(1).pdf)
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático de México. (2010). *Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares*. INECC. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/618/vehiculos.pdf>
- Kuramoto, J. (2005). *El clúster pesquero de Chimbote: Acción conjunta limitada y la tragedia de los recursos colectivos*. GRADE.

- Kurt, O., Zhang, J., y Pinkerton, K. (2016). Pulmonary health effects of air pollution [Efectos de la contaminación del aire en la salud pulmonar]. *Current Opinion in Pulmonary Medicine*, 22(2), 138-143. <https://doi.org/10.1097/MCP.0000000000000248>
- Ley N°28611 – Ley General del Ambiente. (15 de octubre de 2005). Poder Legislativo. 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.
- Méndez Severino, A. (2018). Estimación de las emisiones contaminantes por fuentes móviles a nivel local en el distrito de Barranquilla [Tesis de maestría en ingeniería ambiental, Universidad del Norte]. <https://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/9934/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- 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>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2015). *Instrumentos básicos para la fiscalización ambiental*. OEFA. https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=13978.8
- 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-externo-vivienda-preguntas-frecuentes>
- Pando Calderón, 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>

- 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/CONICET_Digital_Nro.14856eb7-05bd-4812-a99e-50ed2b7552e4_V.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Ramírez Acuña, 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 Romero, 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>
- Red Internacional de Amenazas Volcánicas para la Salud - IVHHN. (s.f.). Hidrógeno de sulfuro (H2S). Recuperado el 14 de febrero del 2025 de: <https://www.ivhnh.org/es/guidelines/guia-sobre-gases-volcanicos/hidrogeno-de-sulfuro>
- 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>
- Romero Placeres, M., Diego Olite, F. y Álvarez Toste, M. (2006). La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 44(2), 1-14. <https://www.redalyc.org/pdf/2232/223214848008.pdf>
- Rubio Bautista, J. (2019). *Monitoreo y evaluación del impacto ambiental del material particulado PM10 y PM2,5 en la Universidad Politécnica Salesiana campus sur* [Tesis para obtener el título profesional de ingeniero ambiental, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17086>
- Sullivan, L. (2009). *The SAGE Glossary of the Social and Behavioral Sciences* [El glosario SAGE de ciencias sociales y del comportamiento]. SAGE Publications.

- Tapara Aguilar, 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 Acosta, 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>
- Toro, M., Ramírez, J., Quiceno, R., y Zuluaga, C. (2001). Cálculo de la emisión vehicular de contaminantes atmosféricos en la ciudad de Medellín mediante factores de emisión. *Revista Acodal*, 191, 42-49. https://www.researchgate.net/profile/Raul-Quiceno-Gonzalez/publication/237652740_CALCULO_DE_LA_EMISION_VEHICULAR_DE_CONTAMINANTES_ATMOSFERICOS_EN_LA_CIUDAD_DE_MEDELLIN_MEDIANTE_FACTORES_DE_EMISION_CORINAIR/links/00b4953bbdcb2af348000000/CALCULO-DE-LA-EMISION-VEHICULAR-DE-CONTAMINANTES-ATMOSFERICOS-EN-LA-CIUDAD-DE-MEDELLIN-MEDIANTE-FACTORES-DE-EMISION-CORINAIR.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.rmclc.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>

VII.ANEXOS

Tabla 1. Emisiones de H2S y MP en las etapas criticas del proceso productivo de harina residual de pescado, periodo 2020-2022

ETAPAS CRITICAS DEL PROCESO PRODUCTIVO (Planta Pesquera OPE7 & BELL SAC)	AÑO 2020				AÑO 2021				AÑO 2022			
	SEMESTRE I		SEMESTRE II		SEMESTRE I		SEMESTRE II		SEMESTRE I		SEMESTRE II	
	Material Particulado (mg/m3)	Sulfuro de Hidrogeno (H2S) (mg/m3)	Material Particulado (mg/m3)	Sulfuro de Hidrogeno (H2S) (mg/m3)	Material Particulado (mg/m3)	Sulfuro de Hidrogeno (H2S) (mg/m3)	Material Particulado (mg/m3)	Sulfuro de Hidrogeno (H2S) (mg/m3)	Material Particulado (mg/m3)	Sulfuro de Hidrogeno (H2S) (mg/m3)	Material Particulado (mg/m3)	Sulfuro de Hidrogeno (H2S) (mg/m3)
PLANTA EVAPORADORA DE AGUA DE COLA	<1.20	<0.641	18.9	<0.641	12.5	<0.641	5.89	<2.49	0.76	<4.80	1.13	<4.80
MOLINO SECO	<1.20	<0.641	13.43	<0.641	10.7	<0.641	5.5	2.5	0.92	<4.80	0.21	<4.80
ENFRIADOR DE HARINA	<1.20	*	3.36	<0.641	18.1	<0.641	5.5	2.6	1.7	<4.80	0.16	<4.80

* No se considero tomar la muestra de H2S

** No se tomó la muestra por falta de materia prima

Tabla 2. Emisiones de H2S y MP en las etapas críticas del proceso productivo de harina residual de pescado, periodo 2023-2025

ETAPAS CRITICAS DEL PROCESO PRODUCTIVO (Planta Pesquera OPE7 & BELL SAC)	AÑO 2023				AÑO 2024				AÑO 2025			
	SEMESTRE I		SEMESTRE II		SEMESTRE I		SEMESTRE II		SEMESTRE I		SEMESTRE II	
	Material Particulado (mg/m3)	Sulfuro de Hidrogeno (H2S) (mg/m3)	Material Particulado (mg/m3)	Sulfuro de Hidrogeno (H2S) (mg/m3)	Material Particulado (mg/m3)	Sulfuro de Hidrogeno (H2S) (mg/m3)	Material Particulado (mg/m3)	Sulfuro de Hidrogeno (H2S) (mg/m3)	Material Particulado (mg/m3)	Sulfuro de Hidrogeno (H2S) (mg/m3)	Material Particulado (mg/m3)	Sulfuro de Hidrogeno (H2S) (mg/m3)
PLANTA EVAPORADORA DE AGUA DE COLA	22.3	4.98	<5.5	4.655	0.793	<0.64	0.88	<0.64	0.82	<0.64	15.47	<0.15
MOLINO SECO	24.7	3.94	<5.5	4.521	0.713	<0.64	0.73	<0.64	0.78	<0.64	14.44	<0.15
ENFRIADOR DE HARINA	21.1	4.21	<5.5	3.984	0.83	<0.64	0.81	<0.64	0.89	<0.64	11.16	<0.15

* No se consideró tomar la muestra de H2S

** No se tomó la muestra por falta de materia prima

Tabla 3. Interpretación de los coeficientes de Pearson y Spearman.

Interpretación del coeficiente de correlación de Pearson: R



HERRAMIENTAS PARA TESIS	
INTERPRETACIÓN DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE SPEARMAN	
Valor de rho	Significado
1	Correlación negativa grande y perfecta
-0,9 a ,99	Correlación negativa muy alta
-0,7 a 0,89	Correlación negativa alta
-0,4 a 0,69	Correlación negativa moderada
-0,2 a 0,39	Correlación negativa baja
-0,01 a 0,19	Correlación negativa muy baja
0	Correlación nula
0,01 a 0,19	Correlación positiva muy baja
0,2 a 0,39	Correlación positiva baja
0,4 a 0,69	Correlación positiva moderada
0,7 a 0,89	Correlación positiva alta
0,9 a 0,99	Correlación positiva muy alta
1	Correlación positiva grande y perfecta

Fuente: (Martínez & Campos, 2012).

Anexo 2. Fotografías de las tres etapas críticas del proceso productivo de harina residual de pescado.



Punto de medición de emisiones
atmosfericas en planta evaporadora de
agua de cola (EA-01)



Punto de medición de emisiones
atmosfericas en molino seco (EA-02)



Punto de medición de emisiones
atmosfericas en enfriador de harina (EA-03)

ANEXO 3. Explicación detallada de actividades para mitigar los Límites Máximos Permisibles en una planta pesquera de harina residual.

1. ¿En qué consiste el mantenimiento preventivo de la ducha del lavador de vahos?

-] **Verificación funcional:** Activar la ducha semanalmente para asegurar que no hay obstrucciones y que el agua corre libremente, permitiendo un lavado completo de 15 - 20 minutos.
-] **Limpeza de difusores/rociadores:** Remover depósitos de sarro en el cabezal, sumergiéndolo en ácido nítrico al 12% para garantizar el caudal necesario.
-] **Inspección de válvulas y fugas:** Revisar que la válvula de apertura funcione y no haya fugas en las tuberías.
-] **Inspección visual:** Comprobar la integridad estructural de la ducha y la limpieza del área.
-] **Revisión de la temperatura:** Asegurar que la temperatura del agua sea tibia para mitigar los gases expuesto al medio ambiente a través de la chimenea de la P.A.C.

2. ¿En qué consiste trabajar con agua de recirculación completamente fría y a que temperatura es su trabajo efectivo???

-] **Consiste** en un proceso que implica un circuito cerrado donde el agua caliente captada en el lavador se envía a una torre de enfriamiento para perder calor, y luego regresa al lavador para repetir el ciclo de condensación de vahos, optimizando el consumo de agua.
-] **Temperatura efectiva:** Para que la condensación de vahos sea eficiente, el agua de la ducha debe estar fría, generalmente a una temperatura notablemente inferior a la del vaho que se desea condensar. Aunque depende del diseño, las torres de enfriamiento suelen trabajar para entregar agua a temperaturas frescas ambientales, a menudo en el rango de 30 a 45° C para maximizar la diferencia térmica y la condensación.
-] La eficiencia de este sistema es fundamental para evitar la corrosión y la emisión de material particulado a la atmósfera

3. ¿Necesariamente el agua tiene que ser fría y por qué??

No, el agua en la ducha del lavador de vahos de una P.A.C. (Planta de Acondicionamiento de Lavador de gases) no tiene que ser necesariamente fría. El uso de agua fría es común por eficiencia térmica al condensar vapores, pero el agua templada o incluso caliente puede usarse dependiendo del diseño para evitar la condensación ácida en la chimenea; aquí algunos detalles

-] **Condensación de Vahos:** El agua fría es más eficiente para enfriar rápidamente los gases calientes y condensar el vapor de agua (vahos).
-] **Prevención de Corrosión:** Si los gases contienen compuestos ácidos, un agua demasiado fría puede provocar una condensación ácida severa en el equipo. A veces se prefiere agua a mayor temperatura para mantener los gases por encima del punto de rocío ácido, evitando la corrosión.

- J) **Eficiencia Energética:** Usar agua excesivamente fría cuando no es necesario (por ejemplo, si el objetivo es solo lavar y no condensar) consume más energía de refrigeración.

4. **¿En qué consiste el mantenimiento de malla de molino y de cuanto de medida son sus orificios??**

El mantenimiento de la malla (o criba) de un molino consiste en la inspección, limpieza y cambio preventivo de las rejillas para asegurar la granulometría del material, evitando atascos y roturas por desgaste del mismo. Mayormente el diámetro de los orificios es de 8 mm (5/16 pulgadas).

5. **¿Qué función cumplen las mallas del molino??**

Las mallas de molino, comúnmente usadas en molinos de martillos y clasificadores, tienen la función principal de **regular el tamaño final de la partícula** (granulometría), actuando como una criba que permite el paso solo del material molido al tamaño deseado y reteniendo el resto para molienda adicional. Aseguran la uniformidad del producto final y protegen el equipo al controlar el flujo de carga.

6. **¿En qué consiste el mantenimiento de mangas del enfriador, breve descripción??**

Para un mantenimiento de las mangas y tengan la eficiencia necesaria se toman las siguientes medidas:

- Retirar las mangas.
- Se procede una limpieza física con aire a presión de las paredes y espejos lo que permitir desprender el polvo o partículas adheridas en la malla, esto se realizara cada 15 días de trabajo.
- Se procederá una limpieza química, se deberá desinfectar el Domo en la parte inferior y superior del espejo con Salmocid al 30%, de concentración. Se deberá realizar cada 15 días de trabajo.
- Asegurara el cintillo de seguridad entre la canastilla y manga.
- Instalación de forma vertical de las mangas.

7. **¿De qué material es la manga del enfriador y cuál es su medida de sus perforaciones???**

La manga de los sistemas de enfriamiento estático o ventilación suele estar fabricada de materiales resistentes como **rafia de polietileno, lona de PVC o polietileno de alta/baja densidad**. Las perforaciones (si son mangas perforadas para distribución de aire) no tienen una medida estándar única, variando según el diseño del equipo del enfriador, para optimizar la difusión.

Mayormente son de 8 a 84 pulgadas de diámetro.