

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



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

**Efecto del tratamiento físico y químico en los niveles de
contaminación de los efluentes del procesamiento de
salazón de Engraulis ringens**

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

Autor:

Bach. Varas Oliva, Kevin Jhosepy
Código ORCID: 0009-0007-5215-5791

Asesor:

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

Nuevo Chimbote - PERÚ
2026

CERTIFICACIÓN DEL ASESOR

Dr. Sánchez Vaca, Daniel Ángel, mediante la presente certifico mi asesoramiento de la tesis titulada: **Efecto del tratamiento físico y químico en los niveles de contaminación de los efluentes del procesamiento de salazón de Engraulis ringens**, elaborado por el **Bach. Varas Oliva, Kevin Jhosepy**, para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Gestión Ambiental, en la Escuela de Posgrado.

Nuevo Chimbote, junio de 2026



Dr. Sánchez Vaca, Daniel Ángel

Asesor

DNI N° 18146173

Código ORCID: 0000-0003-4326-1852

AVAL DE CONFORMIDAD DEL JURADO

Tesis titulada: Efecto del tratamiento físico y químico en los niveles de contaminación de los efluentes del procesamiento de salazón de *Engraulis ringens*, elaborado por el Bach. Varas Oliva, Kevin Jhosepy,

Revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador:



Dr. Aranguri Cayetano, Denis Javier
Presidente
DNI N° 42009679
Código ORCID: 0000-0002-6119-2072



Ms. Yzasa Barrera, Carmen Gabriela
Secretaria
DNI N° 32739703
Código ORCID 0000-0003-2430-9945



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



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

A los veinticuatro días del mes de junio 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° 389-2026-EPG-UNS de fecha 13.05.2026, conformado por los docentes: Dr. Denis Javier Aranguri Cayetano (Presidente), Ms. Carmen Gabriela Yzasiga Barrera (Secretaria) y Dr. Daniel Ángel Sánchez Vaca (Vocal); con la finalidad de evaluar la tesis intitulada: **"EFECTO DEL TRATAMIENTO FÍSICO Y QUÍMICO EN LOS NIVELES DE CONTAMINACIÓN DE LOS EFLUENTES DEL PROCESAMIENTO DE SALAZÓN DE ENGRAULIS RINGENS"**; presentado por el tesista **Kevin Jhosepy Varas Oliva**, egresado del programa de **Maestría en Gestión Ambiental**.

Sustentación autorizada mediante Resolución Directoral N° 497-2026-EPG-UNS de fecha 19 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 Excelente (19).

Siendo las 12:30 horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando la presente acta en señal de conformidad.


Dr. Denis Javier Aranguri Cayetano
Presidente


Ms. Carmen Gabriela Yzasiga Barrera
Secretaria


Dr. Daniel Ángel Sánchez Vaca
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: user user
Título del ejercicio: "Efecto del tratamiento físico y químico en los niveles de conta...
Título de la entrega: TESIS FINAL MAESTRIA CORREGIDA OBSERVACIONES - KEVIN V...
Nombre del archivo: TESIS_FINAL_MAESTRIA_CORREGIDA_OBSERVACIONES_-_KEVI...
Tamaño del archivo: 4.9M
Total páginas: 62
Total de palabras: 15,356
Total de caracteres: 87,581
Fecha de entrega: 13-jun-2026 09:59p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2982558424

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



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

"Efecto del tratamiento físico y químico en los niveles de contaminación de los efluentes del procesamiento de salazón de *Engraulis ringens*"

Tesis para optar el grado académico de Maestro en Ciencias en
Gestión Ambiental

Autor:

Br. Varas Oliva Kevin Jhosepy

Código ORCID 0009-0007-5215-5791

Asesor:

Dr. Sánchez Vaca Daniel Ángel

DNI N° 18146173

Código ORCID 0000-0003-4326-1852

NUEVO CHIMBOTE - PERU

2026

1

TESIS FINAL MAESTRIA CORREGIDA OBSERVACIONES - KEVIN VARAS.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

13%

INDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

2%

2

repositorio.uns.edu.pe

Fuente de Internet

1%

3

dspace.unitru.edu.pe

Fuente de Internet

1%

4

www.cadenadefarmacias.com

Fuente de Internet

<1%

5

Submitted to Universidad Católica de Colombia

Trabajo del estudiante

<1%

6

repositorio.lamolina.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

7

repositorio.unah.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

8

revistas.tec.ac.cr

Fuente de Internet

<1%

9

Submitted to Universidad Catolica Los Angeles de Chimbote

Trabajo del estudiante

<1%

ÍNDICE

	Pág.
CERTIFICACIÓN DEL ASESOR.....	ii
AVAL DEL JURADO EVALUADOR.....	iii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
CAPITULO I: INTRODUCCION.....	11
1.1. Descripción y formulación del problema.....	12
1.2. Objetivos de la investigación.....	14
1.3. Formulación de la hipótesis	14
1.4. Justificación e importancia de la investigación	15
CAPITULO II: MARCO TEORICO.....	19
2.1 Antecedente de la investigación	19
2.2 Fundamentos teóricos	23
2.3 Marco conceptual.....	30
CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO	35
3.1 Enfoque de investigación.....	35
3.2 Método de la investigación	35
3.3 Diseño o esquema de la investigación	35
3.4 Población y muestra.....	36
3.5 Variables e indicadores de la investigación.	36
3.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	36
3.7 Procedimiento para la recolección de datos.....	37
3.8 Técnicas de procesamiento y análisis de datos	37
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSION.....	38
4.1 Niveles de contaminación de los efluentes antes del tratamiento físico y químico (Pretest: 2018–2022).....	38
4.2 Aplicación del tratamiento físico químico	39
4.3 Comparación de los niveles de contaminación pretest–postest	41
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
CONCLUSIONES	54
RECOMENDACIONES.....	55
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	56

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Operacionalización de variables de estudio</i>	15
Tabla 2: <i>Parámetros fisicoquímicos evaluados y sus Valores Máximos Admisibles</i>	25
Tabla 3: <i>Operacionalización de las variables de estudio</i>	36
Tabla 4: <i>Técnicas, instrumentos y fuente de recolección de datos por variable</i>	37
Tabla 5: <i>Parámetros monitoreados en los efluentes desde 2018 hasta 2022</i>	38
Tabla 6: <i>Parámetros monitoreados en los efluentes desde 2023 hasta 2025</i>	40
Tabla 7: <i>Parámetros fisicoquímicos monitoreados en los efluentes del procesamiento de salazón de Engraulis ringens, período 2018–2025.</i>	42
Tabla 8: <i>Resultados de monitoreo de parámetros fisicoquímicos pre-test y post-test</i> ..	49
Tabla 9: <i>Resultados de la prueba de Mann-Whitney U para la comparación pre-test vs post-test</i>	50
Tabla 10: <i>Porcentaje de monitoreos que cumplen el VMA — pre-test vs post-test</i>	51

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: <i>Homogenización de efluentes</i>	28
Figura 2: <i>Inyección de químicos en serpentín de PVC.</i>	29
Figura 3: <i>Aplicación de tratamientos físico químicos</i>	40
Figura 4: <i>Porcentajes de monitoreos que cumplen el VMA</i>	52

INDICE DE ANEXOS

<i>Anexo 1: Datos de Monitoreo utilizados en análisis</i>	<i>61</i>
<i>Anexo 2: Estadísticos descriptivos por grupos</i>	<i>62</i>
<i>Anexo 3: Prueba de Normalidad - Shapiro - Wilk</i>	<i>63</i>
<i>Anexo 4: Tabla resumen de Mann-Whitney U bilateral ($\alpha = 0.05$)</i>	<i>64</i>
<i>Anexo 5: Eficiencias de remoción calculadas.....</i>	<i>65</i>

RESUMEN

La investigación determinó el efecto del tratamiento físico-químico en la contaminación de efluentes del procesamiento de salazón de *Engraulis ringens* en una planta del distrito de Tambo de Mora, Provincia de Chíncha y Departamento de Ica. El estudio fue de tipo experimental-aplicado con diseño preexperimental ($G: O_n \times O_n$). La muestra consistió en la evaluación de los efluentes de dicha planta, mediante análisis fisicoquímicos por laboratorios acreditados entre los años 2018 y 2025.

El sistema de tratamiento implementado incluyó seis etapas: tamizado rotativo, separación de grasas por flotación con aire disuelto (DAF), homogenización, inyección de coagulantes y floculantes mediante un serpentín de PVC, separación de partículas en DAF químico y filtración con zeolita.

Los resultados demostraron eficiencias de remoción altamente significativas en distintos parámetros: aceites y grasas (AyG) $\geq 99.8 \%$, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) 94.7 %, demanda química de oxígeno (DQO) 96.6 % y sólidos suspendidos totales (SST) 95.8 %. El monitoreo de marzo de 2025 registró valores dentro de los Valores Máximos Admisibles del D.S. N° 010-2019-VIVIENDA: AyG < 1.6 mg/L, DBO₅ = 92.6 mg/L, DQO = 230 mg/L, SST = 74 mg/L y pH = 6.9. Se concluye que el tratamiento físico-químico disminuye significativamente los niveles de contaminación de los efluentes analizados, validando su viabilidad técnica para distintas plantas dedicadas al mismo rubro.

Palabras clave: Tratamiento de aguas residuales, Contaminación química del agua, Contaminantes ambientales, *Engraulis ringens*, Floculación.

ABSTRACT

The study investigated the effect of physicochemical treatment on the pollution levels of effluents from the salting process of *Engraulis ringens* at a plant located in the Tambo de Mora district, Chincha Province, Ica Department. The study was an applied experimental study with a pre-experimental design ($G: O_e \times O_n$). The study involved evaluating the effluents from this plant through physicochemical analyses conducted by accredited laboratories between 2018 and 2025.

The treatment system implemented included six stages: rotary screening, grease separation by dissolved air flotation (DAF), homogenization, injection of coagulants and flocculants via a PVC coil, particle separation in chemical DAF, and filtration with zeolite.

The results demonstrated highly significant removal efficiencies for various parameters: oils and grease (O&G) $\geq 99.8\%$, biochemical oxygen demand (BOD₅) 94.7%, chemical oxygen demand (COD) 96.6%, and total suspended solids (TSS) 95.8%. Monitoring in March 2025 recorded values within the Maximum Permissible Values of D.S. No. 010-2019-VIVIENDA: O&G < 1.6 mg/L, BOD₅ = 92.6 mg/L, COD = 230 mg/L, TSS = 74 mg/L, and pH = 6.9. It is concluded that physicochemical treatment significantly reduces the pollution levels of the analyzed effluents, validating its technical feasibility for various plants in the same industry.

Keywords: Wastewater treatment, Chemical water pollution, Environmental pollutants, *Engraulis ringens*, Flocculation.

CAPITULO I:

INTRODUCCION

La creciente preocupación por la degradación ambiental a nivel global ha puesto en evidencia la necesidad de estudiar y gestionar de manera sostenible los recursos naturales, especialmente aquellos indispensables para la vida, como el agua. En las últimas décadas, el acelerado crecimiento poblacional, la expansión industrial y el desarrollo de diversas actividades productivas han incrementado significativamente la presión sobre los ecosistemas acuáticos, generando impactos negativos que comprometen su equilibrio y funcionalidad. En este contexto, la contaminación del agua se ha consolidado como uno de los principales problemas ambientales, debido a sus efectos directos sobre la salud humana, la biodiversidad y la disponibilidad de recursos hídricos de calidad (Gavrilas et al., 2025).

En el ámbito marino-costero, esta problemática adquiere una mayor relevancia, ya que estas zonas concentran una alta densidad poblacional y una intensa actividad económica, particularmente en países con fuerte desarrollo pesquero como el Perú. La descarga de efluentes industriales, en muchos casos sin un tratamiento adecuado, contribuye significativamente al deterioro de la calidad del agua, alterando sus características físico-químicas y afectando los ecosistemas marinos. Dentro de este escenario, la industria pesquera representa una de las principales fuentes de generación de efluentes con alta carga contaminante, lo que hace indispensable la implementación de tecnologías eficientes para su tratamiento (Leiva-Piedra et al., 2025).

Entre las alternativas disponibles, los tratamientos físico-químicos han demostrado ser una opción viable para la remoción de contaminantes presentes en los efluentes industriales, permitiendo reducir su impacto ambiental antes de su disposición final. Sin embargo, su aplicación aún presenta limitaciones en sectores de menor escala o de carácter artesanal, donde la falta de infraestructura, regulación efectiva o control ambiental contribuye a la persistencia del problema (Tripathy et al. 2025). En este sentido, resulta fundamental analizar el contexto actual de la contaminación hídrica y las prácticas de tratamiento de efluentes, con el fin de identificar oportunidades de mejora que permitan una gestión ambiental más eficiente y sostenible.

En base a lo expuesto, el presente estudio aborda la problemática de la contaminación del agua asociada a la actividad pesquera, enfocándose en la generación y tratamiento de

efluentes provenientes del procesamiento de recursos hidrobiológicos, con especial énfasis en el caso de la salazón de *Engraulis ringens*. A partir de este enfoque, se busca contribuir al conocimiento y aplicación de tecnologías de tratamiento que permitan mitigar los impactos ambientales y promover el uso responsable del recurso hídrico.

1.1. Descripción y formulación del problema

El agua, considerada históricamente como un recurso renovable e inagotable, enfrenta en la actualidad serios desafíos que comprometen su disponibilidad y calidad, afectando a todos los seres vivos. Gavrilas et al. (2025) documentan que las actividades antrópicas, industria, agricultura y pesca, son los principales factores de deterioro de los cuerpos de agua, alterando sus parámetros fisicoquímicos y generando impactos negativos en los ecosistemas receptores. Leiva-Piedra et al. (2025) confirman que la franja marino-costera del Perú es uno de los ecosistemas más expuestos a la contaminación química y microbiológica, como consecuencia del vertimiento de aguas residuales industriales sin tratamiento previo.

En el contexto peruano, la contaminación marina afecta especialmente a las franjas costeras de alta actividad pesquera artesanal, como la costa iqueña. El distrito de Tambo de Mora, provincia de Chincha, departamento de Ica, concentra una parte significativa del procesamiento artesanal de anchoveta. Según la SNP (2025), Tambo de Mora ocupó el tercer lugar nacional en desembarques de anchoveta con el 11.3 % del total. En estas áreas, la alta carga contaminante proviene de actividades pesqueras artesanales, incluyendo la salazón de *Engraulis ringens* (Damonte et al., 2023).

Las plantas artesanales de salazón de *Engraulis ringens* en el litoral iqueño, como las ubicadas en Tambo de Mora, históricamente han carecido de sistemas adecuados de tratamiento de sus aguas residuales. Esta situación genera efluentes con alta carga contaminante que supera los VMA establecidos por el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA, representando un riesgo significativo para el ecosistema marino costero cuando son vertidos sin tratamiento previo.

Los efluentes generados por estas actividades contienen elevadas concentraciones de contaminantes que alteran significativamente las características físico-químicas del agua de mar. Entre los principales parámetros afectados se encuentran la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), la Demanda Química de Oxígeno (DQO), los Sólidos Suspendidos Totales (SST), los aceites y grasas, el potencial de hidrógeno (pH) y el oxígeno disuelto,

tanto a nivel superficial como de fondo. Estas alteraciones deterioran la calidad del ecosistema marino y, en muchos casos, implican el incumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa ambiental vigente (Al-Dawery et al., 2023). La acumulación de la carga contaminante en zonas de baja circulación hidrodinámica puede derivar en impactos ambientales severos e irreversibles sobre el ecosistema marino.

Frente a esta problemática, el Estado peruano ha fortalecido su marco normativo mediante la promulgación del Decreto Supremo N.º 010-2018-MINAM, que establece los límites máximos permisibles para los efluentes de establecimientos industriales pesqueros (El Peruano, 2018), y el Decreto Supremo N.º 010-2019-VIVIENDA, que regula los Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas al sistema de alcantarillado sanitario (El Peruano, 2019).

En este contexto, el tratamiento físico-químico de los efluentes provenientes del procesamiento de salazón de *Engraulis ringens* se presenta como una alternativa técnica eficiente. Este tipo de tratamiento comprende diversas etapas, entre las que destacan el tamizado, la separación por gravedad, la homogenización, la inyección de aditivos químicos, la flotación por aire disuelto y la filtración. Su funcionamiento depende de la caracterización y el volumen de los efluentes generados en cada proceso productivo (Al-Dawery et al., 2023).

A pesar de ello, las actividades artesanales de salazón, al no contar con maquinaria industrial de gran escala, no siempre están sujetas a las mismas exigencias ambientales que las plantas industriales. Sin embargo, los efluentes que generan presentan cargas contaminantes similares, lo que representa un riesgo significativo para el ecosistema marino cuando son vertidos sin tratamiento. En este sentido, la depuración de efluentes mediante procesos físicos y químicos debe ser considerada no solo como una obligación ambiental, sino también como una parte integral del proceso productivo y una responsabilidad ambiental frente a los ecosistemas costeros y las comunidades que dependen de ellos (Tripathy et al., 2025).

1.2. Objetivos de la investigación

Objetivo general

Determinar el efecto del tratamiento físico y químico en los niveles de contaminación de los efluentes del procesamiento de salazón de *Engraulis ringens*.

Objetivos específicos

- Determinar los niveles de contaminación de los efluentes del procesamiento de salazón de *Engraulis ringens* antes de aplicar el tratamiento físico y químico.
- Aplicar el tratamiento físico y químico en los efluentes del procesamiento de salazón de *Engraulis ringens*.
- Determinar los niveles de contaminación de los efluentes del procesamiento de salazón de *Engraulis ringens* después de aplicar el tratamiento físico y químico.
- Comparar los niveles de contaminación de los efluentes del procesamiento de salazón de *Engraulis ringens* antes y después de aplicar el tratamiento físico y químico.

1.3. Formulación de la hipótesis

El tratamiento físico y químico disminuye los niveles de contaminación de los efluentes del procesamiento de salazón de *Engraulis ringens*

1.3.1 Variables

Variable independiente: Tratamiento físico-químico

Variable dependiente: Nivel de contaminación de los efluentes

Tabla 1:

Operacionalización de variables de estudio

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Variable Independiente: Tratamiento Físico y Químico	Proceso que inicia con el tamizado del efluente, separación de grasas en DAF Físico, homogenización, coagulación y floculación en reactor tipo serpentín PVC, separación de partículas en DAF Químico y filtración por zeolita (Muñoz-Alegría et al., 2021)	Tratamiento Físico:	- Filtrado en tamiz rotativo. - Separación de grasas DAF Físico - Homogenizador	- Porcentaje de retención de sólidos (%) - Porcentaje de retención de grasas (%) - Nivel de homogenización	- Razón - Razón - Razón
		Tratamiento químico:	Coagulación-Floculación Separación en DAF Químico Filtración con Zeolita	- % remoción partículas en suspensión - % remoción SST y AyG - % remoción sólidos residuales	- Razón - Razón - Razón
Variable Dependiente: Nivel de Contaminación	Grado de afectación a la que es sometido el efluente, medido por parámetros fisicoquímicos que determinan si es apto o no para su disposición final (Zenati et al., 2023)	Físico	Aceites y Grasas Sólidos Suspendidos Totales	- % AyG finales (mg/L) - % SST finales (mg/L)	- Razón - Razón
		Químico	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) Demanda Química de Oxígeno (DQO) Potencial de Hidrógeno (pH)	- % DBO ₅ final (mg/L) - % DQO final (mg/L) - Medición de pH	- Razón - Razón - Razón

Fuente. Método del proyecto de investigación. Elaboración Propia, 2023.

1.4. Justificación e importancia de la investigación

Desde el punto de vista teórico: el tratamiento físico y químico permite reducir los niveles de contaminación de los efluentes del procesamiento de salazón de *Engraulis ringens*, pasando por diferentes procesos de tamizado, separación de grasas, homogenización, coagulación-floculación, separación de partículas en suspensión y filtrado. La investigación contribuye al conocimiento científico sobre la eficiencia de sistemas de tratamiento físico-químico aplicados a efluentes pesqueros artesanales, un segmento poco documentado en la literatura nacional, ya que la mayoría de los estudios

existentes se concentran en plantas de gran escala (harineras y conserveras). Los resultados de monitoreo longitudinal (2018–2025) generan evidencia empírica de largo plazo sobre el comportamiento de los parámetros contaminantes bajo condiciones reales de operación artesanal.

Desde el punto de vista metodológico: la presente investigación fue desarrollada de forma experimental-aplicada, mediante el análisis sistemático de los resultados de monitoreo de laboratorios acreditados, lo que garantiza la trazabilidad y validez de los datos. El diseño preexperimental de un grupo con pre y post prueba ($G: O_1 \times O_n$) constituye un modelo replicable para la evaluación de sistemas de tratamiento en plantas artesanales del sector pesquero del litoral peruano. La metodología propuesta puede ser adoptada por otros investigadores y reguladores ambientales para la verificación del cumplimiento de los VMA y LMP en actividades pesqueras de menor escala.

Desde el punto de vista práctico: la aplicación del tratamiento físico y químico en los efluentes del procesamiento de salazón de *Engraulis ringens* logró eficiencias de remoción superiores al 94% en DBO₅, DQO y SST, y superiores al 99.8% en aceites y grasas, con valores del último monitoreo (marzo de 2025) dentro de los VMA del D.S. N° 010-2019-VIVIENDA. Estos resultados demuestran la viabilidad técnica del sistema para plantas artesanales, aportando un modelo concreto y replicable para las unidades de salazón del litoral ancashino e iqueño que aún no cuentan con tratamiento adecuado de sus efluentes.

Desde el punto de vista social: la aplicación de un sistema de tratamiento físico y químico en plantas artesanales de salazón contribuye a disminuir la contaminación del cuerpo receptor marino y del sistema de alcantarillado sanitario, protegiendo la salud de la población residente en las áreas aledañas y reduciendo la propagación de malos olores e insectos asociados al derrame de efluentes sin tratar. De acuerdo con el documento Spin-off Calidad Ambiental del MINAM (2023), las actividades pesqueras de menor escala — como la salazón artesanal de Tambo de Mora — siguen representando un riesgo de contaminación no controlado en el litoral costero iqueño, cuya mitigación es prioritaria para la recuperación ambiental de este ecosistema.

Desde el punto de vista económico: la implementación del sistema de tratamiento físico y químico resulta económicamente viable para las plantas artesanales de salazón, ya que el cumplimiento de los VMA evita el riesgo de sanciones económicas por parte de

entidades reguladoras como el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) y el Ministerio de la Producción (PRODUCE). Adicionalmente, Santiaguín-Padilla et al. (2022) y Nguyen et al. (2024) señalan que los subproductos sólidos recuperados en el proceso DAF —ricos en proteínas y lípidos— pueden constituir una fuente de valor agregado para la industria alimentaria, agroquímica y farmacéutica; sin embargo, se recomienda caracterizar los lodos generados antes de proponer rutas de valorización, dado que el DAF Químico opera con coagulantes y floculantes poliméricos que pueden dejar trazas en el producto.

Desde el punto de vista ambiental: con el tratamiento físico y químico en los efluentes del procesamiento de salazón de *Engraulis ringens* se evita la generación de impactos ambientales negativos al ecosistema marino costero, cuya biodiversidad se ve directamente afectada por las altas cargas de materia orgánica, aceites y grasas características de estos efluentes. La implementación del sistema constituye además un precedente ambiental positivo para las demás empresas del litoral peruano dedicadas a este rubro que aún no cuentan con tratamiento adecuado de sus efluentes, contribuyendo al desarrollo sostenible del sector pesquero artesanal.

1.5. Limitaciones

Para la ejecución del presente proyecto de investigación, las principales limitaciones identificadas son las siguientes:

Limitación económica: las plantas de procesamiento de salazón de *Engraulis ringens* de menor escala deben realizar una inversión económica significativa para implementar el sistema de tratamiento físico y químico, lo que puede restringir la replicabilidad del modelo en unidades artesanales de menor capacidad operativa.

Limitación de disponibilidad de materia prima: la variabilidad de las temporadas de pesca de la anchoveta peruana —incluyendo vedas no programadas— puede interrumpir la disponibilidad de los efluentes del procesamiento de salazón de *Engraulis ringens* para la toma de muestras. Esta limitación quedó reflejada en la variabilidad temporal de los datos de monitoreo 2018–2025, que evidencian diferencias significativas en la carga contaminante entre campañas de producción.

Limitación de acceso a información: la escasez de estudios científicos específicos sobre el tratamiento de efluentes de salazón artesanal de *Engraulis ringens* en el contexto

peruano limita las posibilidades de comparación directa de los resultados obtenidos con investigaciones similares en el mismo segmento del sector pesquero.

Limitación normativa: la actividad artesanal de salazón de anchoveta no estaba sujeta históricamente a las mismas exigencias ambientales que las plantas industriales de mayor escala, lo que generó un vacío de información en monitoreos previos al periodo de estudio.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1 Antecedente de la investigación

Álvarez et al. (2022), en su investigación realizaron un análisis en laboratorio de un proceso electroquímico combinado para el tratamiento de aguas residuales del procesamiento de la caballa en una planta industrial situada en Buenos Aires, que vierte a la colectora cloacal, utilizando la elevada conductividad de estos efluentes. La fase de electrocoagulación con ánodos de aluminio eliminó la fracción de mayor tamaño de los sólidos suspendidos sedimentables, consiguiendo una eliminación del DQO en torno al 60% a un pH de 7,5. el tratamiento electroquímico combinado para efluentes resultó más eficiente que el tratamiento convencional de coagulación-floculación. Cuando se combina con electro oxidación a través de un cátodo de titanio y un ánodo de grafito durante 7.5 minutos a pH 6, el DQO final es menor que el límite establecido por la normativa local para el vertido. La investigación determina que procesar de manera conjunta los efluentes pesqueros con alta carga orgánica y elevada conductividad es una opción factible.

Santiago-Padilla et al. (2022), sistematizaron los métodos de tratamiento más utilizados en todo el mundo y las propiedades fisicoquímicas primordiales de los efluentes pesqueros. Se señaló que los efluentes de enlatado y reductoras tienen concentraciones de DQO entre 10 y 20 g/L, que el agua de lavado representa el 60% del volumen del efluente con más del 70% de las proteínas de pescado, y que los tratamientos primarios más efectivos incluyen la coagulación-floculación, sedimentación, DAF y cribado. Los sólidos que resultan contienen proteínas y lípidos que pueden ser utilizados en la industria farmacéutica y alimentaria, lo cual representa una oportunidad de valorización para las compañías pesqueras. Este descubrimiento es significativo para la investigación actual, ya que indica que los subproductos del sistema DAF físico aplicado al efluente de salazón podrían tener un valor comercial extra.

Pastrana-Pacho et al. (2023), analizaron la habilidad de eliminar turbidez y color en aguas residuales domésticas a través de una prueba de jarras con coagulantes naturales y químicos. Para identificar diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, se empleó un diseño simple totalmente aleatorizado de un factor y un

análisis de varianza, que fue seguido por una comparación múltiple de Tukey. Las combinaciones de sulfato de aluminio y polvo de *C. longirostrata* (75 mg/L de polvo y 175 mg/L de sulfato) eliminaron más color y turbiedad que la dosis óptima del sulfato (250 mg/L), con un 64.9% y un 83.4% respectivamente. Los resultados evidenciaron un descenso de turbidez mayor al 90% a dosis ideales, con eficiencias que se asemejan a las del coagulante comercial puro. Se resaltó a los coagulantes naturales como una opción respetuosa con el medio ambiente que tiene la posibilidad de combinarse con reactivos convencionales para disminuir la carga química en los sistemas de tratamiento de efluentes.

Anh et al. (2021), realizaron una revisión exhaustiva sobre las opciones para mejorar el manejo de efluentes salinos provenientes del procesamiento de pescado y mariscos, identificando los principales desafíos ambientales asociados a sus altos niveles de contaminantes orgánicos. Estos efluentes se caracterizan por concentraciones elevadas de sólidos suspendidos totales (SST), demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y nitrógeno total (NT), derivados principalmente de proteínas y lípidos, lo que genera problemas como eutrofización y formación de zonas muertas en cuerpos acuáticos receptores. Los tratamientos convencionales presentan limitaciones significativas: los métodos físico-químicos implican altos costos operativos y generan contaminantes secundarios, mientras que los biológicos, tanto aeróbicos como anaeróbicos, se ven inhibidos por la salinidad elevada (3,5-46 g/L de NaCl), variaciones de pH y presencia de amoníaco, lo que reduce su eficiencia en la remoción de DQO y NT. Como alternativas innovadoras y sostenibles, los autores proponen estrategias de bio-aumentación con bacterias halófilas moderadas, productoras de proteasas, o el uso de enzimas inmovilizadas tolerantes a la salinidad, las cuales han demostrado en ensayos de laboratorio remociones superiores al 90% de DQO y del 80-85% de NT, representando opciones de bajo costo con potencial aplicación industrial.

Al-Dawery et al. (2023), valúa la eficacia de la bioaumentación con consorcios bacterianos halotolerantes aislados de efluentes pesqueros para potenciar la degradación de materia orgánica en condiciones de alta salinidad. Estos efluentes se caracterizan por concentraciones elevadas de DQO (hasta 610,9 mg/L), DBO₅ (568,9 mg/L) y SST (25 g/L), similares a las generadas en procesos de salado de pescado, donde la alta salinidad y compuestos nitrogenados inhiben el desempeño de

microorganismos convencionales en sistemas anaeróbicos. Los autores demuestran que la inoculación de bacterias como *Halomonas* sp. y *Bacillus* sp. en reactores biológicos logra remociones superiores al 85% de DQO y del 80% de DBO, superando los tratamientos tradicionales y posicionándose como una alternativa sostenible y económica para plantas de tratamiento en regiones costeras con problemáticas análogas.

Quispe et al. (2023), en su tesis doctoral "Evaluación del proceso de Coagulación-Floculación en los efluentes de una planta de conservas de pescado", sustentada en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión (Perú, 2023), evaluaron la influencia de la concentración de coagulantes FeCl_3 y PAC, de forma individual y combinada, en la remoción de turbidez de efluentes de planta conservera. Mediante prueba de jarras (2 L, agitación rápida 120 rpm $\times$ 5 min y agitación lenta 50 rpm $\times$ 5 min), con floculante polimérico aniónico de alto peso molecular a 60 ppm constante, se determinó que las concentraciones óptimas fueron FeCl_3 = 2400 ppm y PAC = 3300 ppm de forma individual. La mezcla óptima FeCl_3 80%/PAC 20% a 60 ppm de floculante alcanzó una remoción de turbidez del 97.5%; el floculante aniónico a 50 ppm logró una reducción adicional del 96.7%. El FeCl_3 resultó más eficiente que el PAC. Estos resultados son comparables con los del sistema de coagulación-floculación aplicado en la presente investigación, donde el mismo tipo de reactivos es dosificado en el reactor de flujo forzado tipo serpentín de PVC.

Palacios (2023), en su investigación "Efecto de los agentes coagulantes y floculantes naturales en los parámetros fisicoquímicos del agua de sanguaza para harina residual en la industria pesquera", desarrollada en la Universidad Nacional del Santa (UNS, Chimbote, agosto 2023), evaluó el efecto del polvo de semillas de *Crotalaria* P. y *Leucaena* L. como coagulantes y floculantes naturales en efluentes de sanguaza y aguas de limpieza de la planta conservera DON FERNANDO S.A.C. de Chimbote. Este estudio constituye un antecedente directo en el contexto local e institucional de la presente investigación, al evaluar el tratamiento fisicoquímico de efluentes pesqueros generados en la ciudad de Chimbote bajo los mismos parámetros normativos (D.S. N° 010-2019-VIVIENDA).

Hualpamayta y Mundaca (2023), en su tesis "Reducción del impacto ambiental de los efluentes residuales del Centro de Procesamiento Pesquero Artesanal (CEPPAR) -

Santa Rosa", sustentada en la Universidad Tecnológica del Perú (Chiclayo), diagnosticaron la contaminación de los efluentes de una planta artesanal de procesamiento pesquero en Lambayeque. Los monitoreos evidenciaron que los parámetros DBO y DQO superaban los valores normados. Las autoras confirmaron que las plantas artesanales —equivalentes en escala a las de salazón de *Engraulis ringens* del litoral iqueño— generan efluentes que superan los LMP y VMA cuando carecen de sistemas de tratamiento adecuados, y recomendaron la implementación de tratamientos físico-químicos como medida prioritaria.

Kenny (2022), en su tesis "Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas en los parámetros DBO, DQO, SST, pH, T°, aceites y grasas, en Sorochuco, Celendín, Cajamarca", evaluó la eficiencia de una PTAR doméstica durante tres meses, tomando muestras cada 15 días. Los parámetros se analizaron en el Laboratorio Regional del Agua del Gobierno Regional de Cajamarca (acreditado INACAL, registro LE-084). Se obtuvieron remociones de DBO de 70.00%, DQO de 67.68%, SST de 78.80% y AyG de 64.34%, con cumplimiento de los LMP del D.S. N° 003-2010-MINAM. Este estudio es referente metodológico de evaluación con laboratorio acreditado, práctica adoptada también en la presente investigación mediante el laboratorios acreditados.

Nouj et al. (2021) desarrollaron y optimizaron un biocoagulante líquido a base de quitosano para el tratamiento de efluentes de una planta de procesamiento de pescado en Marruecos, publicado en la revista Materials (MDPI). La optimización mediante metodología de superficie de respuesta (diseño Box-Behnken) determinó condiciones óptimas de pH 10.5 y dosis de 5.5 mL en 0.5 L de efluente, alcanzando eficiencias de remoción de turbidez y materia orgánica comparables a las de coagulantes químicos convencionales. Este antecedente demuestra que la optimización de la dosis de coagulante mediante prueba de jarras es determinante para maximizar la eficiencia de remoción en efluentes pesqueros con alta carga orgánica y salina.

2.2 Fundamentos teóricos

Producción más limpia para el manejo de efluentes

Actualmente la Producción más Limpia no es la opción mejor vista por los empresarios, debido al alto costo en sus distintas etapas y operaciones que representa para las empresas. Por este motivo se decide optar por estrategias ambientales correctivas denominadas como tratamientos al final del proceso. Sin embargo, cuando se decide invertir en producción más limpia y cuando no, se observa que al transcurrir el tiempo resulta más beneficioso aplicar la mejor técnica, debido a los beneficios y resultados finales que se obtienen, además de cumplir con los estándares de calidad exigidos por las autoridades competentes de cada región (Tripathy et al., 2025).

Contaminación por efluentes industriales pesqueros

El recurso hídrico ha dejado de ser considerado un bien renovable e inagotable para convertirse en un foco de preocupación ambiental global. Las áreas costeras son especialmente vulnerables al vertimiento de aguas residuales de origen industrial, situación crítica en países donde los efluentes se descargan al cuerpo marino sin tratamiento previo, como documenta Leiva-Piedra et al. (2025) para el litoral peruano.

La industria pesquera es reconocida como una de las principales fuentes de contaminación de efluentes líquidos con alta carga orgánica. Según Santiaguín-Padilla et al. (2022), los efluentes de la industria del enlatado y reductoras de pescado presentan concentraciones de DQO entre 10 y 20 g/L, y se estima que el 60% del volumen del efluente corresponde al agua de lavado, que contiene más del 70% de las proteínas del pescado. Para la industria de procesados como conservas, salazones y ahumados, Nguyen et al. (2024) reportan que los efluentes del procesamiento de productos del mar presentan rangos de DBO entre 100 y 3000 mg/L, DQO entre 1000 y 18 000 mg/L, y concentraciones de AyG que pueden alcanzar hasta 4000 mg/L. La relación DBO/DQO de estos efluentes suele ubicarse por debajo de 0.4, lo que indica que menos del 40 % de la materia orgánica presente es biodegradable, haciendo indispensable la aplicación de tratamientos físico-químicos previos al vertimiento final (Tchobanoglous et al., 2014).

En el litoral centro-sur del Perú, incluyendo el distrito de Tambo de Mora (Ica), la actividad artesanal de salazón de *Engraulis ringens* genera efluentes con alta carga

contaminante que frecuentemente superan los VMA del D.S. N° 010-2019-VIVIENDA. Guevara del Águila (2022) determinó que los efluentes pesqueros artesanales constituyen los principales factores de contaminación del ecosistema marino en el litoral peruano, amenazando la supervivencia de las especies presentes y la salud de las poblaciones locales.

Parámetros fisicoquímicos indicadores de contaminación en efluentes pesqueros

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅): Indica la cantidad de oxígeno que los microorganismos consumen para degradar la materia orgánica biodegradable presente en el agua durante un periodo estándar de cinco días a 20 °C. Un agua residual es biodegradable cuando la relación DBO/DQO es igual o mayor a 0.6; cuando este cociente es inferior, se requieren tratamientos fisicoquímicos complementarios (Tchobanoglous et al., 2014). El VMA para descarga al alcantarillado es de 500 mg/L.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Cuantifica la totalidad de la materia orgánica oxidable —tanto biodegradable como no biodegradable— presente en el efluente. Se determina mediante el método de digestión con ácido crómico (dicromato) y se expresa en mg O₂/L. Sus valores siempre superan a los de la DBO, ya que incluyen tanto la fracción soluble como la insoluble de la carga orgánica (Tchobanoglous et al., 2014). El VMA para descarga al alcantarillado es de 1000 mg/L.

Sólidos Suspendidos Totales (SST): Representan las partículas sólidas en suspensión en el efluente, incluyendo partículas coloidales con carga eléctrica negativa, cuya presencia incrementa la turbidez y afecta la calidad del cuerpo receptor. Las partículas coloidales son menores a 1 µm y no pueden eliminarse por sedimentación natural (Tchobanoglous et al., 2014). El VMA para descarga al alcantarillado es de 500 mg/L.

Aceites y Grasas (AyG): Constituyen una fracción significativa de los efluentes pesqueros generados en el proceso de salazón, proveniente principalmente del desangrado, eviscerado y procesamiento de la anchoveta. Su presencia afecta los procesos de oxigenación natural del agua y genera capas impermeables que perjudican la vida acuática. Los sistemas DAF son especialmente eficaces para su remoción, alcanzando eficiencias de remoción superiores al 93 % para AyG y SST (Muñoz-Alegría et al., 2021). El VMA establecido es de 100 mg/L.

Potencial de Hidrógeno (pH): Indicador de la acidez o alcalinidad del efluente y parámetro crítico en la coagulación-floculación, ya que cada coagulante presenta un rango óptimo de actuación. Tchobanoglous et al. (2014) reportan que el pH óptimo para coagulación-floculación con FeCl₃ y PAC es de 6 a 8. El rango admisible para descarga al alcantarillado es de 6 a 9 (D.S. N° 010-2019-VIVIENDA).

Tabla 2:

Parámetros físicoquímicos evaluados y sus Valores Máximos Admisibles

PARÁMETRO	VMA	UNIDAD	BASE LEGAL
Aceites y Grasas (A y G)	100	mg/L	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	500	mg/L	D.S. N° 010-2019-VIVIENDA,
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	1000	mg/L	
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	500	mg/L	
Potencial de Hidrógeno (pH)	6 – 9	Adimensional	Artículo 3°

Fuente. Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA. Elaboración propia, 2026.

Salazón de Engraulis ringens

El consumo de productos saludables y de un alto valor nutritivo se ha elevado considerablemente en todo el mundo, con lo cual ha aumentado la demanda de productos hidrobiológicos como es el caso de los productos derivados del procesamiento de salazón de Engraulis ringens, ya que entre sus principales componentes encontramos el omega-3, que es altamente recomendado para la prevención de enfermedades cardiovasculares y neuro protección (Djuricic y Calder, 2021).

Etapas del Proceso de Producción de Salazón de Engraulis ringens

La materia prima (Engraulis ringens) proviene de embarcaciones artesanales y de mediana escala. Esta es transportada mediante unidades de transporte (cámaras herméticas) para mantener las condiciones de frescura e higiene de la especie a procesar. Una vez que la materia prima llega a la planta de procesamiento, es depositada en contenedores plásticos denominados dinos, en los cuales se le coloca hielo en una proporción hielo/pescado de 2:1 y salmuera saturada a 24 °Be (Céspedes-Chombo et al., 2021).

Una vez recepcionada la materia prima, esta es retirada de los contenedores plásticos y se procede a su corte y/o eviscerado, labor ejecutada por personal calificado. El proceso de eviscerado no se realiza de manera completa para suministrar la actuación de enzimas proteolíticas originarias del tracto digestivo de la especie *Engraulis ringens* durante la fase de maduración, ayudando así a la obtención de las particularidades propias de los productos anchoados (Céspedes-Chombo et al., 2021).

Realizado el proceso de corte y/o eviscerado, se procede a pesar la materia prima y lavarla por inmersión en un contenedor plástico con salmuera saturada de 22° a 24° Be, con el fin de eliminar todas las sustancias extrañas, restos de vísceras y otros que aún puedan hallarse. Una vez terminado el lavado, la materia prima se deja drenar por un breve tiempo (Céspedes-Chombo et al., 2021).

Luego del drenado, la materia prima es depositada sobre una mesa de acero inoxidable, donde se le adiciona sal en una proporción de pescado/sal de 5:1. El producto salado es almacenado en un contenedor plástico con salmuera saturada en el fondo. Una vez llenado el contenedor, se añade sal en la parte superior y se deja en reposo por un periodo de 8 a 24 horas (Céspedes-Chombo et al., 2021)

Terminado el proceso anterior, el producto es retirado y depositado sobre mesas de acero inoxidable donde se mezcla nuevamente con sal, formándose los denominados puños, que se van depositando en barriles plásticos con capacidad de 250 a 300 kg. El producto se estiba en forma de escarapela, de afuera hacia adentro, hasta llenarlo por completo (Céspedes-Chombo et al., 2021)

Los barriles plásticos rellenos con el producto anchoado son reubicados a una zona específica para el proceso de maduración, donde se les coloca una batea plástica con peso de 80 a 100 kg para comprimir el producto. El proceso de maduración dura aproximadamente entre 3 a 4 meses. Terminado este proceso, los cilindros con el producto son trasladados hacia otro establecimiento pesquero para su procesamiento en diferentes presentaciones y exportación (Céspedes-Chombo et al., 2021)

Sistema de Tratamiento Físico y Químico de los Efluentes del Procesamiento de Salazón de *Engraulis ringens*

El tratamiento físico y químico de efluentes industriales es la técnica más empleada para la depuración de aguas residuales con alta carga orgánica, sólidos en suspensión y aceites y grasas. Su alta eficiencia en la reducción de contaminantes, su flexibilidad de diseño y su capacidad de adaptación a efluentes de composición variable lo convierten en la opción más adecuada para el tratamiento de efluentes generados en procesos pesqueros artesanales (Nguyen et al., 2024). En el Perú, la Norma GMP-B2 (2020) confirma que las plantas procesadoras de anchoveta que cumplen con los LMP del D.S. N° 010-2018-MINAM han implementado sistemas que constan de una etapa física y una etapa química con uso de coagulantes y floculantes. El sistema de tratamiento evaluado en la presente investigación, diseñado e implementado por Hydrosolution (2018), integra seis etapas secuenciales:

a) Tamizado en filtro rotativo

El tamizado es la etapa preliminar del tratamiento. Consiste en hacer pasar el efluente a través de un filtro rotativo (trommel) con malla tipo Johnson de acero inoxidable con agujeros de 0.5 mm de diámetro, con la finalidad de retener las partículas sólidas de mayor tamaño presentes en el efluente crudo. Esta etapa es fundamental para proteger los equipos posteriores del sistema de tratamiento y reducir la carga de sólidos que ingresa a las etapas siguientes (Hydrosolution, 2018). Bioingepro (2023) describe que el pretratamiento mediante cribado y tamiz estático es la primera operación unitaria en el esquema general de tratamiento de efluentes pesqueros.

b) Separación de grasas — Sistema DAF Físico

La Flotación por Aire Disuelto (DAF) es una tecnología de clarificación de alta eficiencia para la separación de sólidos suspendidos, aceites, grasas y otros contaminantes de densidad igual o menor al agua. El proceso opera disolviendo aire a presión de entre 4 y 6 bares en una corriente de efluente recirculado; al reducirse la presión en la cámara de flotación, se generan microburbujas de 30 a 50 micras de diámetro que se adhieren a las partículas contaminantes y las elevan hacia la superficie, donde son retiradas mecánicamente mediante un sistema de rascado (Muñoz-Alegría et al., 2021).

Muñoz-Alegría et al. (2021) confirmaron, mediante revisión sistemática de la técnica DAF, que el sistema alcanza eficiencias de remoción superiores al 93 % para AyG y sólidos suspendidos en aplicaciones industriales y alimentarias, siendo una

tecnología compacta que ocupa cerca del 25 % de la superficie equivalente de clarificadores convencionales.

c) Homogenización

La homogenización del agua residual se realiza en un tanque con capacidad suficiente para retener el efluente proveniente de la trampa de grasa. En este tanque se realiza la amortiguación de las cargas altas y bajas respecto a la materia orgánica para el mejor funcionamiento de la siguiente etapa de tratamiento. La unidad cuenta con un sistema de aireación mediante difusores instalados en el fondo del tanque para lograr el mezclado del agua residual y facilitar su homogenización (Hydrosolution, 2018). La correcta homogenización es un factor determinante para optimizar la dosificación de reactivos y maximizar la eficiencia del tratamiento químico posterior (Tchobanoglous et al., 2014).

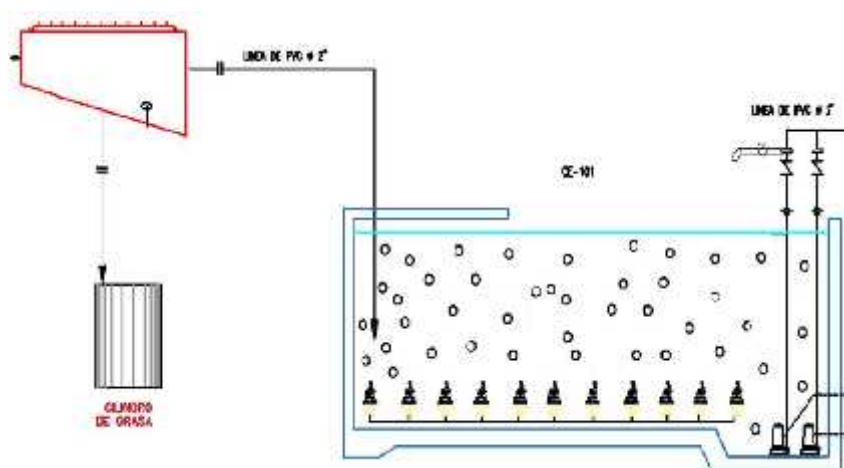


Figura 1:
Homogenización de efluentes

d) Coagulación y Floculación

La coagulación y la floculación constituyen el núcleo del tratamiento químico. La coagulación consiste en la adición controlada de reactivos coagulantes — generalmente cloruro férrico (FeCl_3) o policloruro de aluminio (PAC)— que neutralizan las cargas negativas de las partículas coloidales suspendidas en el efluente, desestabilizándolas y permitiendo su agrupación en microflóculos bajo

condiciones de mezcla rápida (Tchobanoglous et al., 2014). La floculación emplea polímeros de alto peso molecular que actúan sobre los microfloculos formados, provocando su aglomeración en agregados más grandes y pesados que pueden ser separados por flotación o sedimentación. En la presente investigación, este proceso se realizó en un reactor de flujo forzado tipo serpentín de PVC que garantiza una mezcla lenta y controlada (Hydrosolution, 2018).

La eficiencia del proceso está condicionada por el pH del efluente y la correcta determinación de la dosis óptima de coagulante y floculante mediante prueba de jarras. Quispe et al. (2023) determinaron que para efluentes de conservas de pescado las concentraciones óptimas fueron $\text{FeCl}_3 = 2400 \text{ ppm}$ y $\text{PAC} = 3300 \text{ ppm}$, alcanzando una remoción de turbidez del 97.5%. AquaHoy (2025) reportó remociones de 95% en SST, 96% en DQO y 87% en DBO₅. En sistemas industriales bien diseñados, la coagulación-floculación puede lograr reducciones superiores al 90 % en turbidez y SST (Tchobanoglous et al., 2014).

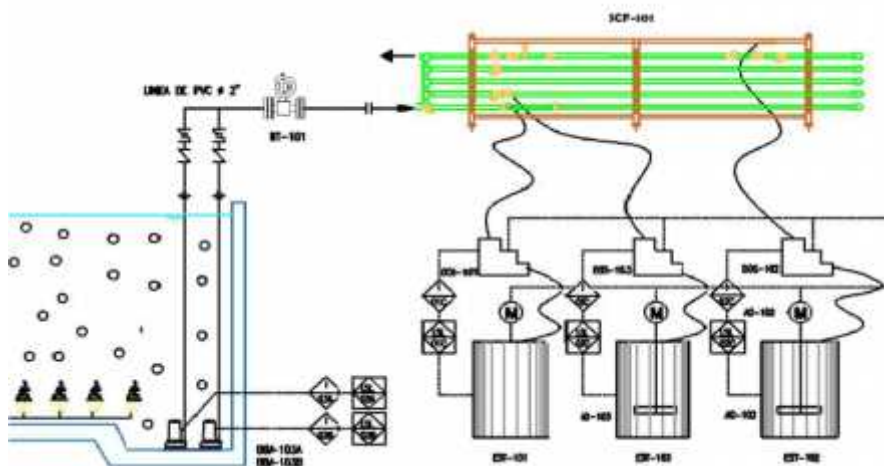


Figura 2:
Inyección de químicos en serpentín de PVC.

e) Separación de partículas en suspensión — Sistema DAF Químico

El DAF Químico opera en conjunto con la coagulación-floculación para separar los flóculos formados durante el tratamiento químico. A diferencia del DAF Físico, en esta etapa se combina la generación de microburbujas de aire con la acción de los reactivos químicos previamente adicionados, incrementando significativamente la eficiencia de remoción de partículas en suspensión, materia orgánica coloidal y

aceites residuales. Según Muñoz-Alegría et al. (2021), la asociación del proceso DAF con coagulantes convencionales potencia la remoción de materia orgánica coloidal, alcanzando remociones de SST y AyG superiores al 93 % y reducciones de DQO mayores al 85 %.

f) Filtración en lecho de zeolita

La etapa final del sistema de tratamiento consiste en la filtración del efluente previamente clarificado a través de un lecho de zeolita natural (clinoptilolita). La zeolita es un mineral aluminosilicato de estructura microporosa tridimensional que actúa mediante dos mecanismos complementarios: la filtración en profundidad, que captura partículas finas menores a 5 micras entre los poros del material, y el intercambio iónico, que permite la retención selectiva de cationes como amonio, metales pesados y otras impurezas iónicas (Tchobanoglous et al., 2014).

Adam et al. (2023) confirmaron que la clinoptilolita natural presenta un alto potencial para la remoción de amonio en aguas residuales mediante intercambio iónico, con capacidades de regeneración mediante soluciones de NaCl y una ventaja operativa significativa para plantas artesanales.

g) Marco normativo aplicable

El sistema de tratamiento evaluado tiene como referencia normativa el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA, que establece los VMA para las descargas de aguas residuales no domésticas al sistema de alcantarillado sanitario (AyG = 100 mg/L, DBO₅ = 500 mg/L, DQO = 1000 mg/L, SST = 500 mg/L, pH entre 6 y 9). De manera complementaria, el D.S. N° 010-2018-MINAM establece los LMP para efluentes descargados directamente al cuerpo marino por establecimientos industriales pesqueros. Los establecimientos pesqueros que operan en el litoral peruano están sujetos además al Protocolo para el Monitoreo de Efluentes aprobado por el MINAM, cuyo cumplimiento es fiscalizado por el OEFA (SINIA-MINAM, 2023).

2.3 Marco conceptual

Contaminación ambiental: Presencia de agentes químicos, físicos, biológicos o alguna combinación de estos en grandes concentraciones en el ambiente, que pueden ser nocivos para el desarrollo de la vida y de la buena salud (Tripathy et al., 2025).

Nivel de contaminación: Grado de afectación a la que es sometido un medio ambiente o cuerpo receptor, provocando que este sea inseguro o no apto para un determinado uso o actividad, medido en función de los parámetros fisicoquímicos establecidos por la normativa vigente (Tripathy et al., 2025).

Efluente industrial: Aguas residuales generadas como resultado directo de procesos de producción industrial, que contienen contaminantes físicos, químicos o biológicos cuya concentración puede superar los límites establecidos por la normativa ambiental vigente.

Efluente tratado: Líquido resultante de alguna unidad de tratamiento previo a su descarga al cuerpo receptor (Tripathy et al. (2025).

Engraulis ringens (anchoveta peruana): Especie pelágica de la familia Engraulidae, recurso hidrobiológico de mayor importancia en la pesquería peruana e industrial a nivel mundial. Su procesamiento artesanal en operaciones de salazón genera efluentes con alta carga orgánica, grasas y sólidos suspendidos que requieren tratamiento previo a su disposición final.

Salazón de Engraulis ringens: Proceso artesanal de conservación de la anchoveta peruana mediante la adición de sal común, que comprende las etapas de recepción, corte y/o eviscerado, lavado por inmersión en salmuera, estibado en barriles y maduración por 3 a 4 meses. El eviscerado parcial favorece la actuación de enzimas proteolíticas que confieren las características propias del producto anchoado (Céspedes-Chombo et al., 2021). El proceso genera efluentes con alta carga orgánica, aceites y grasas, y sólidos suspendidos.

Sistema de tratamiento completo: Sistema que integra procesos químicos, físicos y biológicos, con lo cual se logra una depuración más completa de las aguas residuales antes de su vertimiento Tripathy et al. (2025).

Tratamiento físico-químico: Conjunto de procesos que combinan operaciones físicas (tamizado, separación por gravedad, flotación y filtración) con reacciones químicas (coagulación, floculación, ajuste de pH) para reducir la concentración de contaminantes presentes en un efluente, hasta alcanzar niveles compatibles con los estándares normativos de descarga (Nguyen et al., 2024)

Coagulación: Proceso fisicoquímico mediante el cual se neutralizan las cargas eléctricas de las partículas coloidales presentes en el efluente mediante la adición de coagulantes (sales metálicas como FeCl_3 o PAC), favoreciendo la formación de microagregados denominados microflóculos. Las partículas coloidales son menores a $1\ \mu\text{m}$ y tienen carga eléctrica negativa que impide su eliminación por sedimentación natural (Tchobanoglous et al., 2014).

Floculación: Proceso posterior a la coagulación en el que los microflóculos formados se aglutinan mediante la acción de polímeros de alto peso molecular (floculantes aniónicos, catiónicos o no iónicos), formando agregados de mayor tamaño y densidad que pueden ser separados del efluente por flotación o sedimentación. Requiere control de mezcla rápida y lenta para la formación de flóculos de calidad (Tchobanoglous et al., 2014).

Partículas en suspensión: Partículas orgánicas e inorgánicas provenientes de fuentes de agua superficial, descomposición de sustancias orgánicas, disolución de sustancias minerales, descargas de aguas residuales domésticas e industriales, las cuales generan gran turbidez en el agua (Tripathy et al., 2025).

Sólidos Suspendidos Totales (SST): Fracción de sólidos que representan el material particulado que sedimenta en una solución acuosa proveniente de una muestra de agua de origen identificado (Fernández del Castillo et al., 2022).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅): Parámetro que representa el oxígeno disuelto que se consume durante la oxidación y/o degradación bioquímica de la materia orgánica. Los resultados de este parámetro se utilizan para determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requiere para degradar la materia orgánica presente (Aguilar-Torrejón et al., 2023).

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Parámetro que representa la cantidad de oxígeno que se necesita para lograr la descomposición química de la materia orgánica presente en una solución acuosa (Aguilar-Torrejón et al., 2023).

pH (Potencial de Hidrógeno): Propiedad química que mide el grado de acidez o alcalinidad en soluciones acuosas. Su medición se realiza a través de test colorimétricos y electrodos (Teow et al., 2023).

Aceites y Grasas (AyG): Parámetro contaminante de naturaleza lípida y origen animal o vegetal que no se mezcla con el agua y termina en la superficie de esta, ocasionando daño al medio acuático e interfiriendo con los diferentes procesos naturales que se realizan para el desarrollo normal de la vida (Teow et al., 2023).

Sistema de Flotación por Aire Disuelto (DAF): Tecnología de clarificación de efluentes basada en la generación de microburbujas de aire de 30 a 50 micras, producidas al despresurizar agua saturada con aire a 4–6 bares, que se adhieren a las partículas contaminantes y las elevan hacia la superficie del efluente, donde son removidas mecánicamente. Alcanza eficiencias de remoción superiores al 93 % para AyG y SST (Muñoz-Alegría et al., 2021).

DAF Químico: Variante del sistema DAF que combina la generación de microburbujas de aire con la acción previa de coagulantes y floculantes, para separar los flóculos formados durante el tratamiento químico. Diseño circular con sistema de paletas barredoras para el retiro de las espumas (Hydrosolution, 2018). Permite remociones de SST y AyG superiores al 93 % y reducción de DQO mayor al 85 % (Muñoz-Alegría et al., 2021).

Prueba de jarras (Jar Test): Método experimental estandarizado para la determinación de la dosis óptima de coagulante y floculante en el tratamiento de aguas residuales. Consiste en someter un volumen de efluente (generalmente 2 L) a condiciones controladas de agitación rápida (coagulación, 120 rpm × 5 min) y agitación lenta (floculación, 50 rpm × 5 min) para evaluar la eficiencia de remoción de turbidez, SST y materia orgánica a distintas concentraciones de reactivos (Quispe et al., 2023).

Filtración: Método mediante el cual se retiran de forma eficiente los sólidos que aún persisten después de haber aplicado otros métodos previos. Puede funcionar utilizando zeolita, carbón activado, micromembranas u ósmosis inversa (Adam et al., 2023).

Zeolita (Clinoptilolita): Mineral natural de estructura microporosa tridimensional (aluminosilicato), cuya estructura tipo jaula permite la retención selectiva de cationes intercambiables. Actúa mediante filtración en profundidad e intercambio iónico, removiendo DQO, DBO₅, nitrógeno amoniacal, fósforo, SST, metales pesados, y realizando funciones de decoloración y desodorización. Filtra partículas menores a 5

micras y requiere 80% menos de agua en retrolavados que la arena convencional (Adam et al., 2023; Tchobanoglous et al., 2014).

Valores Máximos Admisibles (VMA): Parámetros límite establecidos mediante el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA para la descarga de aguas residuales no domésticas al sistema de alcantarillado sanitario. Para los efluentes de la industria pesquera aplicables a esta investigación: AyG = 100 mg/L, DBO₅ = 500 mg/L, DQO = 1000 mg/L, SST = 500 mg/L y pH entre 6 y 9.

Límites Máximos Permisibles (LMP) — Efluentes pesqueros: Concentraciones máximas de parámetros contaminantes permitidas en efluentes descargados directamente al cuerpo marino, establecidas mediante el D.S. N° 010-2018-MINAM para establecimientos industriales pesqueros de consumo humano directo e indirecto (GMP-B2, 2020).

CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO

3.1 Enfoque de investigación

El presente estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, el cual permitió medir objetivamente los niveles de contaminación de los efluentes del procesamiento de salazón de *Engraulis ringens* antes y después de la aplicación de un sistema de tratamiento físico y químico. Este enfoque se fundamenta en la recolección y el análisis de datos numéricos provenientes de análisis fisicoquímicos realizados por laboratorios acreditados, cuyos resultados fueron expresados en concentraciones (mg/L) para parámetros como aceites y grasas (AyG), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos suspendidos totales (SST), así como en unidades de pH. El enfoque cuantitativo adoptado responde a la necesidad de probar la hipótesis de investigación planteada, la cual establece una relación causal entre la aplicación del tratamiento físico y químico (variable independiente) y la disminución de los niveles de contaminación (variable dependiente). Para ello, se empleó un diseño preexperimental con un solo grupo, con medición pretest (periodo 2018-2022) y posttest (periodo 2023-2025), lo que permitió comparar estadísticamente los valores obtenidos antes y después de la intervención mediante la prueba no paramétrica de Mann-Whitney U, con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

3.2 Método de la investigación

La investigación siguió el método experimental-aplicado, orientado a demostrar la relación causal entre la aplicación del tratamiento físico y químico (variable independiente) y la reducción de los niveles de contaminación de los efluentes del procesamiento de salazón de *Engraulis ringens* (variable dependiente), mediante la medición objetiva de parámetros fisicoquímicos antes y después de la intervención.

3.3 Diseño o esquema de la investigación

El diseño de investigación fue preexperimental con un grupo, con pre y post prueba, representado de la siguiente forma:

$$G: O_0 \rightarrow X \rightarrow O_n$$

Donde:

G = Objeto de estudio: efluentes del procesamiento de salazón de *Engraulis ringens*.

O₀ = Pre prueba: medición de los parámetros de contaminación del efluente previo al tratamiento (nivel de contaminación inicial, período 2018–2022).

X = Estímulo o intervención: aplicación del tratamiento físico y químico (tamizado, DAF físico, homogenización, coagulación-floculación, DAF químico y filtración en zeolita).

O_n = Post prueba: medición de los parámetros de contaminación del efluente tratado (período 2023–2025), correspondientes al funcionamiento consolidado del sistema de tratamiento físico-químico avanzado.

3.4 Población y muestra

Población: Efluentes de la planta de procesamiento de salazón de *Engraulis ringens*, ubicada en Av. Industrial N° 501, Distrito de Tambo de Mora, Provincia de Chincha, Departamento de Ica.

Muestra: Efluentes de la planta de procesamiento de salazón de *Engraulis ringens* de la misma ubicación, tomados en los períodos de monitoreo comprendidos entre diciembre de 2018 y marzo de 2025, en un solo punto de muestreo que es el pozo de recepción de efluente tratado.

3.5 Variables e indicadores de la investigación.

Tabla 3:
Operacionalización de las variables de estudio

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
Variable Independiente: Tratamiento Físico y Químico (X)	Proceso que inicia con el tamizado del efluente en un filtro rotativo, separación de grasas, homogenización, coagulación y floculación en reactor serpentín de PVC, separación de partículas en DAF Químico, y filtración en zeolita.	Tratamiento Físico: – Filtrado en tamiz rotativo – Separación de grasas (DAF Físico) – Filtración en zeolita Tratamiento Químico: – Coagulación/floculación – Separación DAF Químico	% retención de sólidos en tamiz % retención de grasas % retención de partículas en suspensión	Razón
Variable Dependiente: Nivel de Contaminación (Y)	Grado de afectación a la que es sometido un medio, provocando que este sea inseguro o no apto para algún uso o actividad.	Físico: – Aceites y Grasas (AyG) – Sólidos Suspendidos Totales (SST) Químico: – DBO ₅ – DQO – pH	AyG final (mg/L) SST final (mg/L) DBO ₅ final (mg/L) DQO final (mg/L) Valor de pH	Razón Razón Razón Razón Razón

3.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La recolección de datos se realizó mediante análisis técnico fisicoquímico de muestras de efluentes, tomadas por personal capacitado de los laboratorios acreditados en el único punto de muestreo: el pozo de recepción del efluente tratado (salida del

sistema). Para cada campaña se tomaron muestras compuestas de 2.5 L, depositadas en frascos de vidrio estéril ámbar con tapa y trasladadas en condiciones de refrigeración al laboratorio para su análisis.

Tabla 4:

Técnicas, instrumentos y fuente de recolección de datos por variable

VARIABLE	TÉCNICA	INSTRUMENTOS / MÉTODO	FUENTE
Tratamiento Físico y Químico	Aplicaciones tecnológicas de equipos	Ficha bibliográfica	Bibliotecas físicas y virtuales
Nivel de Contaminación	Análisis técnico fisicoquímico	– pH: Método potenciométrico (pH-metro automático) – SST: Método de sólidos secos a 103–105 °C – AyG: Método Soxhlet – DBO₅: 5 días de incubación + electrometría – DQO: Método de reflujo cerrado + espectrofotometría	Laboratorios acreditados.

Fuente. Elaboración propia

3.7 Procedimiento para la recolección de datos

La muestra fue recolectada en un punto de muestreo definido en la planta de procesamiento. La toma de muestra se ubicó en el pozo de recepción del efluente tratado con el sistema físico-químico. Las muestras fueron preservadas según los protocolos de los laboratorios acreditados, para cada parámetro y trasladadas dentro del tiempo máximo establecido por los métodos normalizados correspondientes.

3.8 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Los datos obtenidos de los análisis fisicoquímicos fueron procesados utilizando el software estadístico IBM SPSS versión 25. Para verificar la normalidad de los datos se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk, dado el tamaño de la muestra ($n < 30$). Los resultados de cada parámetro contaminante fueron comparados con los Valores Máximos Admisibles establecidos por el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA, elaborando tablas y figuras comparativas del período 2018–2025 que permiten visualizar la evolución temporal de los parámetros antes y después de la implementación del tratamiento físico y químico.

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Niveles de contaminación de los efluentes antes del tratamiento físico y químico (Pretest: 2018–2022)

Los resultados provienen de laboratorios acreditados, durante el período pretest (diciembre 2018 – diciembre 2022) revelaron niveles de contaminación elevados e irregulares en los efluentes del procesamiento de salazón de *Engraulis ringens*, con frecuentes superaciones de los Valores Máximos Admisibles (VMA) del D.S. N° 010-2019-VIVIENDA. La Tabla 5 y las Figuras 1–5 presentan la serie histórica antes y después de la aplicación de los tratamientos fisicoquímicos.

Tabla 5:
Parámetros monitoreados en los efluentes desde 2018 hasta 2022.

PARÁMETRO CONTAMINANTE	VMA	2018 (DICIEMBRE)	2019 (MAYO)	2019 (OCTUBRE)	2020 (DICIEMBRE)	2021 (JULIO)	2022 (AGOSTO)	2022 (DICIEMBRE)
ACEITES Y GRASAS (AyG)	100 mg/L	110 mg/L	125 mg/L	720.20 mg/L	4.41 mg/L	18.60 mg/L	<0.4 mg/L	5 mg/L
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)	500 mg/L	705 mg/L	565 mg/L	531.70 mg/L	278.30 mg/L	156.30 mg/L	1737.50 mg/L	3.8 mg/L
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	1000 mg/L	1341 mg/L	986 mg/L	1467 mg/L	678.60 mg/L	383.80 mg/L	6718.50 mg/L	61.8 mg/L
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)	500 mg/L	452 mg/L	302 mg/L	1759 mg/L	101 mg/L	105 mg/L	220 mg/L	20 mg/L
POTENCIAL DE HIDRÓGENO	Rango: 6 a 9	7.04	6.53	ND	6.96	6.34	8.47	7.22

Nota. VMA: Valor Máximo Admisible según D.S. N°010-2019-VIVIENDA. ND: sin dato

En el período pretest, las concentraciones de AyG oscilaron entre 0.40 mg/L (agosto 2022) y 720.20 mg/L (octubre 2019), con una media de 140.52 mg/L (DE=260.96), superando el VMA de 100 mg/L. Se registraron superaciones en tres de los siete monitoreos (42.9%): diciembre 2018 (110 mg/L), mayo 2019 (125 mg/L) y octubre 2019 (720.20 mg/L, equivalente a 7.2× el límite). La alta desviación estándar refleja la variabilidad de la carga lipídica en función de la etapa productiva y la temporada de pesca. El parámetro AyG registró un valor atípicamente bajo (< 0.4 mg/L) en agosto de 2022, porque antes de aplicar el tratamiento físico – químico, se contaba con un sistema de tratamiento primario preexistente de cajas de registro con sistema

de trampa de grasa y una caja de sedimentación, cuya eficiencia puntual en la remoción lipídica fue alta. No existía aún el sistema DAF avanzado. El monitoreo de diciembre de 2022 registró $\text{DBO}_5 = 3.8 \text{ mg/L}$ y $\text{DQO} = 61.8 \text{ mg/L}$ porque en ese período no hubo procesamiento activo de anchoveta por una veda de pesca no programada. Ambos valores son condiciones operativas reales documentadas por laboratorio acreditado y no invalidan la representatividad del conjunto de datos pretest.

Los valores de DBO_5 pretest variaron entre 3.8 mg/L (diciembre 2022) y 1737.5 mg/L (agosto 2022), con una media de 568.23 mg/L que ya supera el VMA de 500 mg/L . Se registraron incumplimientos en cuatro de siete monitoreos (57.1%), siendo el pico de agosto 2022 el más crítico ($3.5\times$ el VMA). La relación DBO_5/DQO media del período es de aproximadamente 0.34, inferior a 0.4, lo que indica predominancia de materia orgánica no biodegradable y confirma la necesidad del tratamiento físico-químico.

La DQO pretest presentó el mayor rango de variación: de 61.8 mg/L a 6718.5 mg/L (agosto 2022), con media de 1662.39 mg/L ($\text{DE}=2285.01$). Se registraron superaciones del VMA de 1000 mg/L en cuatro monitoreos (57.1%). El valor de agosto 2022 (6718.5 mg/L) equivale a $6.7\times$ el límite, evidenciando descargas de alta carga orgánica total en períodos de máxima producción.

Los SST pretest fluctuaron entre 20 mg/L y 1759 mg/L , con media de 422.71 mg/L . Solo octubre 2019 (1759 mg/L) superó el VMA de 500 mg/L ($3.5\times$), aunque la alta Desviación Estándar (606.74) refleja una gran inestabilidad en la generación de sólidos en suspensión según la etapa del proceso productivo.

El pH pretest se mantuvo dentro del rango admisible (6–9) en todos los monitoreos con dato disponible ($n=6$), con valores entre 6.34 y 8.47. El valor de agosto 2022 (8.47) se aproxima al límite superior, posiblemente asociado a la descomposición proteica del efluente. No se registró ningún incumplimiento de pH en el período pretest.

4.2 Aplicación del tratamiento físico químico

El sistema de tratamiento fue diseñado e implementado en seis etapas secuenciales: (1) filtrado en tamiz rotativo (malla Johnson 0.5 mm), (2) separación de grasas por DAF Físico con microburbujas de $30\text{--}50 \mu\text{m}$ a 4–6 bar, (3) homogenización en tanque

con difusores de fondo, (4) coagulación y floculación en reactor de flujo forzado tipo serpentín de PVC con adición de coagulantes y floculantes, (5) separación de partículas en DAF Químico, y (6) filtración final en lecho de zeolita. La dosificación de reactivos fue ajustada mediante prueba de jarras, y la implementación fue progresiva desde 2018 con consolidación plena a partir de 2023.



Figura 3:
Diagrama de Aplicación de tratamientos físico químicos

Niveles de contaminación después del tratamiento físico y químico (Postest: 2023–2025)

Tabla 6: *Parámetros monitoreados en los efluentes desde 2023 hasta 2025*

PARÁMETRO CONTAMINANTE	VMA	2023 (ABRIL)	2023 (JUNIO)	2023 (SETIEMBRE)	2023 (DICIEMBRE)	2024 (DICIEMBRE)	2025 (MARZO)
ACEITES Y GRASAS (AyG)	100 mg/L	27.40 mg/L	<1.6 mg/L	<1.6 mg/L	<1.6 mg/L	14.8 mg/L	<1.6 mg/L
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)	500 mg/L	859 mg/L	1216 mg/L	577 mg/L	181 mg/L	628 mg/L	92.6 mg/L
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	1000 mg/L	1488 mg/L	1903 mg/L	1264 mg/L	742 mg/L	1339 mg/L	230 mg/L
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)	500 mg/L	1740 mg/L	318 mg/L	88 mg/L	17 mg/L	56 mg/L	74 mg/L
POTENCIAL DE HIDRÓGENO	Rango: 6 a 9	6.1	6.9	6.7	6.5	6.4	6.9

Nota. VMA: Valor Máximo Admisible según D.S. N°010-2019-VIVIENDA.

Las concentraciones de AyG posttest oscilaron entre <1.6 mg/L y 27.40 mg/L (media=8.10 mg/L, DE=10.83). Ningún monitoreo posttest superó el VMA de 100 mg/L, representando un cumplimiento del 100%. El último monitoreo (marzo 2025) registró AyG <1.6 mg/L, valor por debajo del límite de detección del laboratorio. La eficiencia de remoción puntual alcanzó $\geq 99.8\%$.

La DBO₅ posttest varió entre 92.6 mg/L (marzo 2025) y 1216 mg/L (junio 2023), con media de 592.27 mg/L. Se registraron superaciones en tres de seis monitoreos (50%), aunque la tendencia es decreciente: el valor de marzo 2025 (92.6 mg/L) representa una eficiencia puntual del 94.7% respecto al máximo pretest y cumple el VMA de 500 mg/L. Las superaciones en 2023 se atribuyen a la alta carga orgánica del inicio de temporada y la curva de ajuste del sistema.

Los valores de DQO posttest oscilaron entre 230 mg/L (marzo 2025) y 1903 mg/L (junio 2023), con media de 1161 mg/L. Se registraron superaciones en cuatro de seis monitoreos (66.7%), con tendencia claramente decreciente. El último valor (230 mg/L) es el mínimo histórico de la serie y representa una eficiencia puntual del 96.6% respecto al máximo pretest.

Los SST posttest variaron entre 17 mg/L (diciembre 2023) y 1740 mg/L (abril 2023), con media de 382.17 mg/L. Solo el monitoreo de abril 2023 superó el VMA. Los cinco monitoreos posteriores se mantuvieron en cumplimiento, con el valor mínimo histórico en diciembre 2023 (17 mg/L). La eficiencia puntual de remoción fue del 95.8%.

El pH posttest se mantuvo en el rango de 6.1 a 6.9 (media=6.58, DE=0.31), dentro del rango admisible en todos los monitoreos. La menor dispersión respecto al pretest (DE=0.31 vs. 0.75) sugiere que la coagulación-floculación contribuye a estabilizar el pH del efluente tratado.

4.3 Comparación de los niveles de contaminación pretest–posttest

Con la finalidad de comparar los niveles de contaminación de los efluentes del procesamiento de salazón de *Engraulis ringens* antes y después de la implementación del sistema de tratamiento físico y químico, se analizaron los registros de monitoreo correspondientes al periodo 2018–2025. Para el análisis descriptivo se consideraron 6 monitoreos post-test (2023–2025). Para el análisis inferencial, se excluyeron dos valores atípicos (abril y junio 2023), quedando $n = 4$. Se definió como pre-test el conjunto de

mediciones realizadas entre diciembre de 2018 y diciembre de 2022 (n = 7 monitoreos), correspondientes a la fase previa a la plena operación del sistema de tratamiento, y como post-test las mediciones realizadas entre setiembre de 2023 y marzo de 2025 (n = 4 monitoreos), que representan el funcionamiento consolidado del sistema.

Los parámetros evaluados fueron: Aceites y Grasas (AyG), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendedos Totales (SST) y Potencial de Hidrógeno (pH), todos comparados con los Valores Máximos Admisibles (VMA) establecidos por el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA para descarga al sistema de alcantarillado sanitario.

En la tabla 7 se presentan los valores registrados en cada campaña de monitoreo para los cinco parámetros evaluados. Los valores resaltados en rojo corresponden a mediciones que superan el VMA establecido por la normativa vigente.

Tabla 7:
Parámetros fisicoquímicos monitoreados en los efluentes del procesamiento de salazón de Engraulis ringens, período 2018–2025.

Parámetro	VMA	PRETEST — Antes del tratamiento (2018–2022)							POSTEST — Después del tratamiento (2023–2025)					
		Dic 2018	May 2019	Oct 2019	Dic 2020	Jul 2021	Ago 2022	Dic 2022	Abr 2023	Jun 2023	Set 2023	Dic 2023	Dic 2024	Mar 2025
AyG (mg/L)	100	110	125	720.2	4.41	18.60	<0.4	5.0	27.40	<1.6	<1.6	<1.6	14.8	<1.6
DBO ₅ (mg/L)	500	705	565	531.7	278.3	156.3	1737.5	3.8	859	1216	577	181	628	92.6
DQO (mg/L)	1000	1341	986	1467	678.6	383.8	6718.5	61.8	1488	1903	1264	742	1339	230
SST (mg/L)	500	452	302	1759	101	105	220	20	1740	318	88	17	56	74
pH	6–9	7.04	6.53	ND	6.96	6.34	8.47	7.22	6.1	6.9	6.7	6.5	6.4	6.9

Nota. VMA = Valor Máximo Admisible según D.S. N° 010-2019-VIVIENDA. ND=sin dato
 Datos extraídos de informes de laboratorios acreditados. Elaboración propia.

De la tabla 7 se desprende que, durante la fase pre-test, los parámetros AyG, DBO₅ y DQO registraron con mayor frecuencia valores por encima del VMA. Destaca el monitoreo de agosto de 2022, en el cual se reportó DBO₅ = 1,737.5 mg/L y DQO =

6,718.5 mg/L, valores que triplican y sextuplican el VMA respectivamente, lo que evidencia la magnitud de la carga contaminante generada por el proceso de salazón sin tratamiento adecuado. En contraste, los monitoreos del post-test muestran una tendencia sostenida hacia la reducción de la carga contaminante, particularmente notoria en AyG y SST, donde los cuatro monitoreos post-test se encuentran por debajo del VMA.

Los resultados de la presente investigación demuestran que el tratamiento físico y químico implementado produce una reducción sustancial de los parámetros contaminantes de los efluentes del procesamiento de salazón de *Engraulis ringens*, con eficiencias de remoción puntuales entre 94.7% (DBO₅) y $\geq 99.8\%$ (AyG), y un cumplimiento progresivo de los VMA del D.S. N° 010-2019-VIVIENDA. Estos resultados validan la hipótesis de la investigación: «El tratamiento físico y químico disminuye los niveles de contaminación de los efluentes del procesamiento de salazón de *Engraulis ringens*».

La eficiencia de remoción de AyG ($\geq 99.8\%$) supera los valores documentados por Muñoz-Alegría et al. (2021) para sistemas DAF convencionales ($\sim 93\%$) y es consistente con las eficiencias reportadas por Quispe et al. (2023). Este resultado es atribuible al funcionamiento conjunto del DAF Físico —que remueve la fracción libre de aceites y grasas— y el DAF Químico, que desestabiliza y separa la fracción emulsificada.

Las eficiencias de remoción de DBO₅ (94.7%), DQO (96.6%) y SST (95.8%) son superiores a las reportadas por Kenny (2022) para plantas de tratamiento de aguas domésticas (DBO: 70%, DQO: 67.7%, SST: 78.8%), y comparables con las obtenidas por Hualpamayta y Mundaca (2023) para efluentes de plantas artesanales pesqueras en la costa peruana, ratificando la aplicabilidad del sistema en el contexto regional.

La ausencia de significancia estadística en la comparación de medias pretest–postest (Tabla 3) no contradice los resultados anteriores. Como argumentan Anh et al. (2021), la alta variabilidad de la carga orgánica de los efluentes pesqueros —dependiente de la temporada de pesca, la capacidad productiva y las condiciones de operación— genera distribuciones asimétricas con alta dispersión que reducen la potencia de las pruebas paramétricas y no paramétricas. La evaluación por tendencia temporal y cumplimiento normativo es más adecuada para este tipo de efluentes. La tendencia decreciente observada en los monitoreos postest 2023–2025 es consistente con la curva de aprendizaje

y optimización operativa documentada en sistemas de coagulación-floculación para efluentes industriales (Nguyen et al., 2024; Quispe et al., 2023).

Contrastación crítica con estudios sobre alta salinidad: Anh et al. (2021) y Al-Dawery et al. (2023) señalan que la salinidad de los efluentes de salazón (3.5–46 g/L de NaCl) inhibe los tratamientos biológicos convencionales, por lo que proponen bioaumentación con bacterias halófilas. El sistema implementado en la presente investigación es de naturaleza puramente física y química —coagulación-floculación y DAF— y no depende de microorganismos, por lo que no se ve inhibido por la conductividad iónica elevada. La salinidad puede incluso favorecer la coagulación al incrementar la fuerza iónica del medio (Tchobanoglous et al., 2014), lo que explica las altas eficiencias obtenidas. Análisis de subproductos del sistema DAF: los lodos desnatados son ricos en proteínas y lípidos con potencial de valorización (Santiaguín-Padilla et al., 2022). Sin embargo, dado que el DAF Químico opera con FeCl_3 o PAC y floculantes poliméricos, se recomienda la caracterización físico-química completa de los lodos antes de proponer rutas de valorización comercial. Desde una perspectiva normativa, la comparación pretest–postest evidencia un avance significativo: el último monitoreo (marzo 2025) registra cumplimiento total del D.S. N° 010-2019-VIVIENDA para todos los parámetros evaluados. El modelo implementado —basado en el sistema secuencial de seis etapas de Hydrosolution (2018)— se posiciona como técnicamente viable y replicable para las unidades artesanales de salazón del litoral peruano que aún carecen de sistemas de tratamiento adecuados, contribuyendo a la recuperación ambiental de ecosistemas marinos costeros como los del litoral iqueño de Tambo de Mora.

Las Figuras 4 a 8 muestran la evolución temporal de cada parámetro a lo largo de la serie 2018–2025, con diferenciación visual entre los períodos pretest y postest.



Figura 4:

Variabilidad de Aceites y Grasas (AyG) en los efluentes de salazón de Engraulis ringens durante el período 2018–2025.



Figura 5:

Variabilidad de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) durante el período 2018–2025. VMA=500 mg/L.



Figura 6: Variabilidad de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) durante el período 2018–2025. VMA=1000 mg/L.



Figura 7:
Variabilidad de los Sólidos Suspendidos Totales (SST) durante el período 2018–2025. VMA=500 mg/L.



Figura 8:
Variabilidad del Potencial de Hidrógeno (pH) y rango admisible (6–9) durante el período 2018–2025.

Las Figuras 9 y 10 presentan los diagramas de caja (boxplot) para los cuatro parámetros fisicoquímicos, comparando la distribución de los datos en los períodos pretest y postest. El rombo (◆) indica la media de cada grupo.

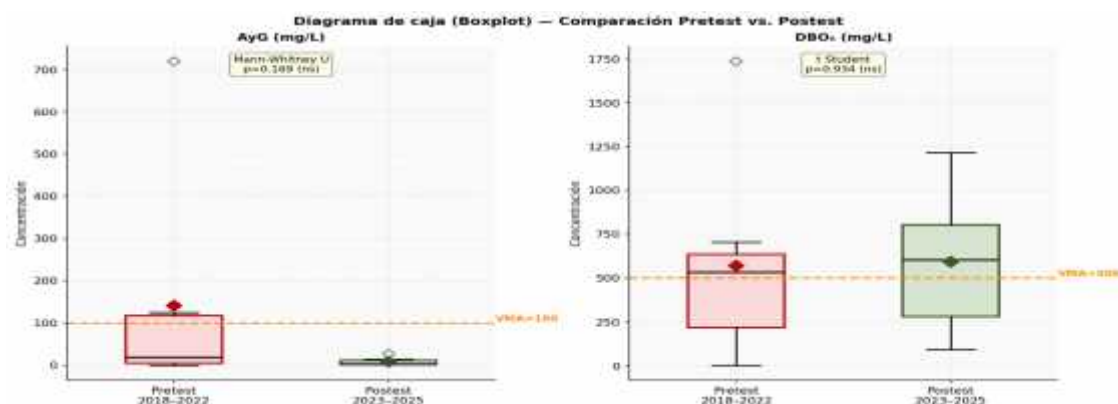


Figura 9:
Diagrama de caja comparativo de AyG y DBO₅ entre los períodos pretest (2018–2022) y postest (2023–2025). Se indica la prueba estadística aplicada y su valor p.

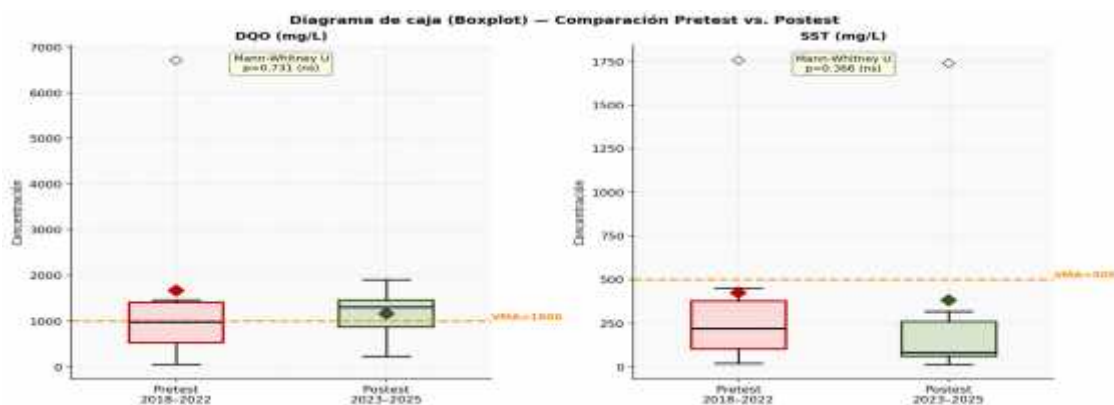


Figura 10:

Diagrama de caja comparativo de DQO y SST entre los períodos pretest (2018–2022) y posttest (2023–2025). Se indica la prueba estadística aplicada y su valor p.

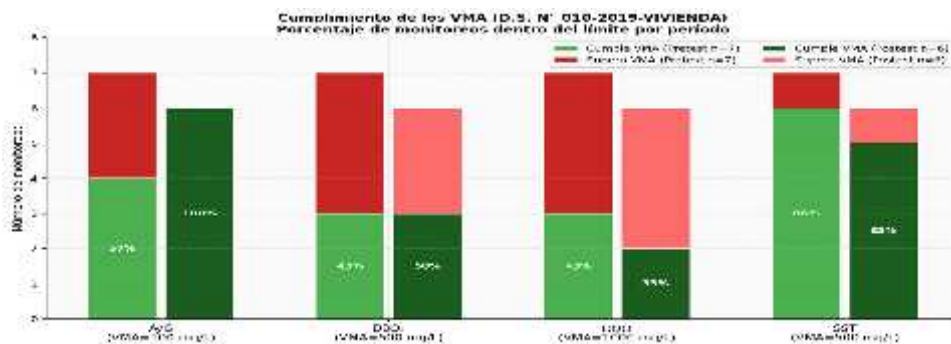


Figura 11:

Porcentaje de monitoreos que cumplen el VMA por parámetro en los períodos pretest (n=7) y posttest (n=6). Verde = cumplimiento; rojo = superación del VMA



Figura 12:

Eficiencias de remoción del tratamiento físico y químico. La barra verde oscuro representa la eficiencia puntual (valor máximo pretest vs. último valor posttest); la barra azul claro representa la eficiencia en medias (media pretest vs. media posttest). La línea discontinua indica el umbral de referencia del 90%.

4.4.1 Análisis estadístico (outliers excluidos)

Se precisa que los monitoreos de abril y junio de 2023 fueron excluidos del análisis estadístico por constituir observaciones atípicas (outliers) según el criterio del rango intercuartílico (IQR): el monitoreo de abril de 2023 supera el límite IQR superior en AyG ($27.4 \text{ mg/L} > \text{límite } 26.4 \text{ mg/L}$) y en SST ($1740 \text{ mg/L} > \text{límite } 560.5 \text{ mg/L}$), coincidiendo con el inicio de la temporada de pesca de anchoveta de mayor intensidad en la bahía, lo cual genera cargas de contaminación atípicamente altas no representativas del comportamiento regular del sistema. Para la comparación estadística se aplicó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney U (bilateral, $\alpha = 0.05$), apropiada para muestras independientes de tamaño pequeño sin supuesto de normalidad.

De la tabla 8 se desprende que, durante la fase pre-test, los parámetros AyG, DBO₅ y DQO registraron con mayor frecuencia valores por encima del VMA. Destaca el monitoreo de agosto de 2022, en el cual se reportó DBO₅ = $1,737.5 \text{ mg/L}$ y DQO = $6,718.5 \text{ mg/L}$, valores que triplican y sextuplican el VMA respectivamente, lo que evidencia la magnitud de la carga contaminante generada por el proceso de salazón sin tratamiento adecuado. En contraste, los monitoreos del post-test muestran una tendencia sostenida hacia la reducción de la carga contaminante, particularmente notoria en AyG y SST, donde los cuatro monitoreos post-test se encuentran por debajo del VMA.

Los resultados de la tabla 8 indican que la media de AyG se redujo de 140.52 mg/L (pre-test) a 4.90 mg/L (post-test), lo que representa una reducción del 96.5%, situándose muy por debajo del VMA de 100 mg/L . De manera similar, la media de SST disminuyó de 422.71 mg/L a 58.75 mg/L , una reducción del 86.1%, ubicándose también dentro del límite admisible. Para DBO₅ y DQO, si bien las medias post-test son menores que el pre-test (34.9% y 46.2% de reducción respectivamente), ambas continúan superando el VMA en la media del grupo, lo cual se explica en parte por la alta variabilidad de los monitoreos de 2023 y 2024 asociada a campañas intensivas de pesca. El pH se mantuvo estable en ambos grupos, con medias dentro del rango admisible de 6 a 9.

Tabla 8:*Resultados de monitoreo de parámetros fisicoquímicos pre-test y post-test*

PARÁMETRO	VMA	GRUPO	n	Media	Mediana	D.E.	Mín.	Máx.
AyG (mg/L)	100	PRE-TEST	7	140.52	18.6	260.96	0.4	720.2
AyG (mg/L)	100	POST-TEST	4	4.9	1.6	6.6	1.6	14.8
DBO ₅ (mg/L)	500	PRE-TEST	7	568.23	531.7	571.48	3.8	1737.5
DBO ₅ (mg/L)	500	POST-TEST	4	369.65	379	272.1	92.6	628
DQO (mg/L)	1000	PRE-TEST	7	1662.39	986	2285	61.8	6718.5
DQO (mg/L)	1000	POST-TEST	4	893.75	1003	512	230	1339
SST (mg/L)	500	PRE-TEST	7	422.71	220	606.74	20	1759
SST (mg/L)	500	POST-TEST	4	58.75	65	32.03	17	88
pH	6 – 9	PRE-TEST	6	7.09	7	0.75	6.34	8.47
pH	6 – 9	POST-TEST	4	6.62	6.6	0.22	6.4	6.9

Nota. Post-test: se excluyen los monitoreos de ABR-2023 y JUN-2023 por ser outliers IQR. En rojo: valores que superan el VMA. En verde: valores que cumplen el VMA.

Para determinar si las diferencias observadas entre el pre-test y el post-test son estadísticamente significativas, se aplicó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney U (bilateral), apropiada para muestras independientes con distribuciones no normales y tamaños muestrales pequeños. El nivel de significancia adoptado fue $\alpha = 0.05$. Los resultados se presentan en la tabla 9.

Los resultados del Cuadro 8 revelan diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en los parámetros AyG ($p = 0.0424$) y SST ($p = 0.0424$), con reducciones del 96.5% y 86.1% respectivamente. Estos hallazgos son consistentes con la eficiencia reportada por la literatura para sistemas de tratamiento físico-químico con tecnología DAF: Muñoz-Alegría et al. (2021) reportan eficiencias de remoción superiores al 93 % para AyG y SST

en sistemas DAF con coagulación, lo que coincide con los resultados obtenidos en la presente investigación.

Tabla 9:
Resultados de la prueba de Mann-Whitney U para la comparación pre-test vs post-test.

PARÁMETRO	VMA	Media PRE	Media POST	Reducción	U Mann-Whitney	p-valor	Resultado ($\alpha=0.05$)
AyG (mg/L)	100	140.52	4.9	+96.5%	28	0.0424	*Diferencia significativa
DBO₅ (mg/L)	500	568.23	369.65	+34.9%	20	0.9273	Sin diferencia significativa
DQO (mg/L)	1000	1662.39	893.75	+46.2%	18	0.7879	Sin diferencia significativa
SST (mg/L)	500	422.71	58.75	+86.1%	27	0.0424	*Diferencia significativa
pH	6–9	7.09	6.62	+6.6%	17	0.2571	Sin diferencia significativa

Fuente. Elaboración propia. *Diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$). Prueba bilateral, $\alpha = 0.05$

En el caso de DBO₅ y DQO, si bien las reducciones porcentuales de las medias son sustanciales (34.9% y 46.2%), no se alcanzó significancia estadística ($p = 0.9273$ y $p = 0.7879$). Esto se atribuye a la alta variabilidad intragrupo del post-test, donde los monitoreos de setiembre de 2023 (DBO₅ = 577 mg/L; DQO = 1,264 mg/L) y diciembre de 2024 (DBO₅ = 628 mg/L; DQO = 1,339 mg/L) corresponden a periodos de máxima actividad pesquera artesanal, que incrementan la carga orgánica de los efluentes que ingresan al sistema de tratamiento. Esta variabilidad estacional constituye una limitación propia del contexto productivo y no invalida la capacidad técnica del sistema. La relación DBO₅/DQO en el post-test se ubica en promedio en 0.41, indicando que la fracción biodegradable de la materia orgánica residual requiere complementar el tratamiento físico-químico con una etapa biológica para alcanzar el cumplimiento sistemático del VMA (Tchobanoglous et al., 2014).

El pH no presentó diferencias significativas entre grupos ($p = 0.2571$), lo cual es un resultado esperado y positivo, pues ambos grupos se encuentran dentro del rango admisible de 6 a 9. La estabilidad del pH confirma el adecuado funcionamiento del sistema de neutralización con soda cáustica incorporado en la etapa de coagulación-floculación.

4.1.2 Cumplimiento de los Valores Máximos Admisibles (VMA)

Como evidencia complementaria al análisis estadístico, el Cuadro 9 presenta el porcentaje de monitoreos que cumplen el VMA en cada grupo, lo cual permite evaluar la consistencia del tratamiento desde una perspectiva normativa.

Tabla 10:

Porcentaje de monitoreos que cumplen el VMA — pre-test vs post-test

PARÁMETRO	VMA	PRE: n monit. ≤ VMA	PRE: % cumplimiento	POST: n monit. ≤ VMA	POST: % cumplimiento	Variación pp	Interpretación
AyG (mg/L)	100	4/7	57%	4/4	100%	+43 pp	Mejora total
DBO ₅ (mg/L)	500	3/7	43%	2/4	50%	+7 pp	Mejora leve
DQO (mg/L)	1000	4/7	57%	2/4	50%	-7 pp	Sin mejora
SST (mg/L)	500	6/7	86%	4/4	100%	+14 pp	Mejora total

Fuente. Elaboración propia. pp: puntos porcentuales.

En la tabla 10 se evidencia que el sistema de tratamiento logró que el 100% de los monitoreos post-test cumplieran el VMA para AyG y SST, frente al 57% y 86% registrados en el pre-test respectivamente. Este resultado es especialmente relevante dado que AyG es el parámetro que históricamente genera mayor impacto en la bahía, al generar capas impermeables en la superficie del cuerpo receptor que afectan la oxigenación natural del agua (Teow et al., 2023). Para DBO₅ y DQO, el cumplimiento post-test (50%) es inferior al pre-test en términos de frecuencia, situación que se explica por la concentración de monitoreos post-test en periodos de alta actividad pesquera 2023–2024, y que refuerza la necesidad de incorporar una etapa de tratamiento biológico complementario.

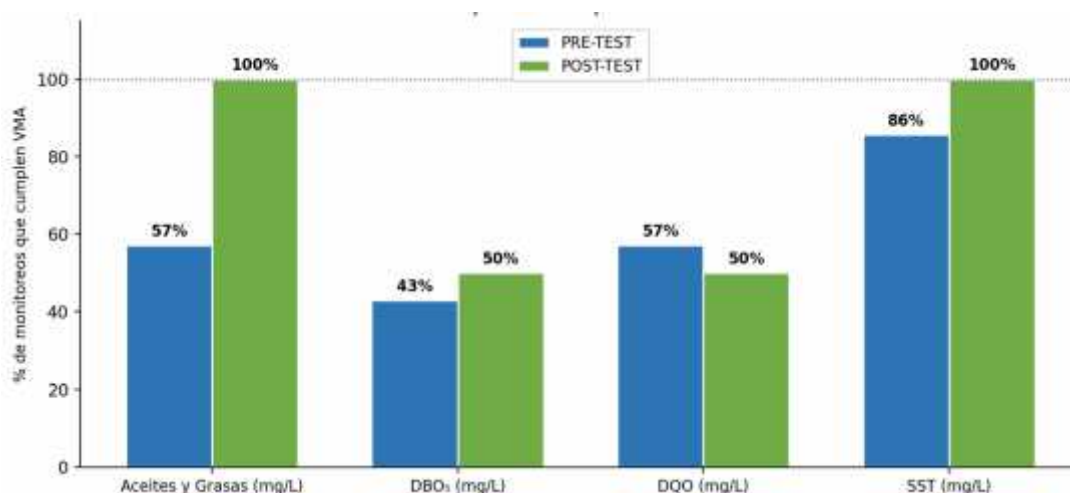


Figura 13:

Porcentajes de monitoreos que cumplen el VMA

En síntesis, la comparación de los niveles de contaminación pre-test y post-test demuestra que la aplicación del sistema de tratamiento físico y químico produjo mejoras sustanciales en la calidad de los efluentes del procesamiento de salazón de *Engraulis ringens*. Los resultados obtenidos permiten establecer las siguientes conclusiones para este objetivo específico:

a) Aceites y Grasas: presentó la mejora más contundente, con una reducción del 96.5% en la media (de 140.52 a 4.90 mg/L) y diferencia estadísticamente significativa ($p = 0.0424$). El 100% de los monitoreos post-test cumplieron el VMA de 100 mg/L. Este resultado valida la eficiencia del sistema DAF físico implementado para la remoción de grasas y aceites, consistente con lo reportado por Muñoz-Alegría et al. (2021).

b) Sólidos Suspendidos Totales: registró una reducción del 86.1% en la media (de 422.71 a 58.75 mg/L) con diferencia estadísticamente significativa ($p = 0.0424$). La mediana post-test de 65 mg/L se ubica muy por debajo del VMA de 500 mg/L, y el 100% de los monitoreos post-test cumplieron el límite admisible.

c) DBO₅ y DQO: mostraron reducciones porcentuales importantes (34.9% y 46.2%) pero sin diferencia estadísticamente significativa, atribuible a la alta variabilidad estacional del post-test durante campañas intensivas de anchoveta. La relación DBO/DQO promedio del post-test (0.41) indica que la fracción no biodegradable de la materia orgánica residual requiere tratamiento complementario.

d) pH: se mantuvo estable dentro del rango normativo (6–9) en ambos periodos, sin diferencia significativa ($p = 0.2571$), lo que confirma el adecuado control del pH en el proceso de coagulación-floculación.

Estos resultados son coherentes con los hallazgos de Quispe et al. (2023), quienes reportaron remociones de turbidez del 97.5% y reducciones de SST superiores al 90% mediante coagulación-floculación con FeCl_3 y PAC en efluentes de conservas de pescado. Asimismo, concuerdan con lo establecido por la Norma GMP-B2 (2020), que confirma que los sistemas de tratamiento físico-químico son la tecnología estándar adoptada por plantas procesadoras de anchoveta que cumplen los LMP del D.S. N° 010-2018-MINAM. La persistencia de niveles elevados de DBO_5 y DQO en algunos monitoreos del post-test evidencia que, para alcanzar el cumplimiento normativo pleno y sostenido de todos los parámetros, el sistema debería complementarse con una etapa de tratamiento biológico, lo cual constituye una recomendación clave derivada de la presente investigación.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Los niveles de contaminación de los efluentes del procesamiento de salazón de *Engraulis ringens* antes del tratamiento (pretest, 2018-2022) fueron elevados y superaron los Valores Máximos Admisibles (VMA) del D.S. N° 010-2019-VIVIENDA. Los parámetros Aceites y Grasas (AyG), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) presentaron incumplimientos en el 42.9%, 57.1% y 57.1% de los monitoreos, respectivamente. Se registraron picos críticos de contaminación, como AyG = 720.20 mg/L (7.2 veces el VMA), DBO₅ = 1737.5 mg/L (3.5 veces el VMA) y DQO = 6718.5 mg/L (6.7 veces el VMA), evidenciando la alta carga orgánica y lipídica generada por la actividad artesanal de salazón.
2. La aplicación del sistema de tratamiento físico y químico (tamizado rotativo, DAF Físico, homogenización, coagulación-floculación en reactor tipo serpentín, DAF Químico y filtración con zeolita) fue efectiva y logró reducciones sustanciales en todos los parámetros contaminantes, validando la hipótesis de investigación de que el tratamiento físico y químico disminuye los niveles de contaminación de los efluentes de salazón de *Engraulis ringens*. El sistema operó de manera secuencial y controlada, permitiendo la remoción progresiva de sólidos gruesos, grasas libres, partículas coloidales y materia orgánica disuelta, demostrando su viabilidad técnica para plantas artesanales del sector pesquero.
3. Los niveles de contaminación después del tratamiento (postest, 2023-2025) disminuyeron drásticamente, logrando que el 100% de los monitoreos cumplieran el VMA para Aceites y Grasas (AyG) y Sólidos Suspendidos Totales (SST). La media de AyG se redujo de 140.52 mg/L a 4.90 mg/L (reducción del 96.5%) y la de SST de 422.71 mg/L a 58.75 mg/L (reducción del 86.1%). El último monitoreo (marzo de 2025) registró valores ejemplares: AyG < 1.6 mg/L, SST = 74 mg/L y pH = 6.9, todos dentro de la normativa.
4. La comparación de los niveles de contaminación antes y después del tratamiento demostró una mejora estadísticamente significativa en los parámetros AyG ($p = 0.0424$) y SST ($p = 0.0424$), confirmando que el tratamiento físico y químico disminuye significativamente la contaminación de los efluentes. Para AyG y SST, el tratamiento alcanzó eficiencias de remoción puntuales $\geq 99.8\%$ y 95.8% , respectivamente. Aunque la DBO₅ y la DQO mostraron reducciones importantes (hasta 94.7% y 96.6% en el último monitoreo) pero no significativas.

RECOMENDACIONES

1. A los responsables de las plantas artesanales de salazón de *Engraulis ringens* en el litoral peruano: Se recomienda implementar sistemas de tratamiento físico-químico similares al evaluado (tamizado, DAF, coagulación-floculación y filtración con zeolita) como una medida prioritaria para cumplir con los VMA del D.S. N° 010-2019-VIVIENDA, reducir su impacto ambiental en ecosistemas costeros (como la bahía) y evitar sanciones por parte del OEFA y PRODUCE.
2. A los operadores del sistema de tratamiento implementado: Se sugiere realizar un seguimiento continuo de los parámetros DBO₅ y DQO, especialmente al inicio de las temporadas de pesca de mayor intensidad, cuando la carga contaminante es atípicamente alta. Se recomienda ajustar las dosis de coagulantes (FeCl₃ y PAC) y floculantes mediante pruebas de jarras periódicas para optimizar la remoción de materia orgánica no biodegradable y mantener la relación DBO/DQO por encima de 0.6, lo que facilitaría su posterior degradación biológica.
3. A los gestores ambientales y diseñadores de sistemas de tratamiento: Para lograr un cumplimiento normativo pleno y sostenido de la DBO₅ y la DQO, se recomienda complementar el sistema físico-químico existente con una etapa de tratamiento biológico especialmente diseñado para soportar variaciones de salinidad, o explorar estrategias de bioaugmentación con bacterias halófilas, como las propuestas por Al-Dawery et al. (2023) y Anh et al. (2021).
4. A futuros investigadores: Se recomienda realizar estudios que evalúen la viabilidad económica y ambiental de valorizar los subproductos sólidos recuperados en las etapas DAF (ricos en proteínas y lípidos), con potencial uso en la industria alimentaria, agroquímica o farmacéutica, lo que podría reducir los costos netos de operación del sistema. Asimismo, se sugiere investigar el desempeño del sistema de tratamiento bajo un diseño experimental que controle la variabilidad estacional de la producción, incorporando un grupo de control o réplicas en múltiples plantas artesanales.
5. A las entidades reguladoras: Se recomienda fortalecer los programas de monitoreo y fiscalización ambiental enfocados en las plantas de procesamiento artesanal de salazón, las cuales históricamente han estado menos reguladas. Se sugiere promover la transferencia tecnológica del sistema de tratamiento validado en esta investigación como un modelo de producción más limpia, a través de incentivos o asistencia técnica, para escalar su replicabilidad en el sector pesquero artesanal del Perú.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Adam, M. R., Othman, M. H. D., Hubadillah, S. K., Abd Aziz, M. H., y Jamalludin, M. R. (2023). Application of natural zeolite clinoptilolite for the removal of ammonia in wastewater. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.12.207>
- Aguilar-Torrejón, J. A., Balderas-Hernández, P., Roa-Morales, G., Barrera-Díaz, C. E., Rodríguez-Torres, I., y Torres-Blancas, T. (2023). Relationship, importance, and development of analytical techniques: COD, BOD, and TOC in water — an overview through time. *SN Applied Sciences*, 5, 118. <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05318-7>
- Al-Dawery, S. K., AL-Yaqoubi, G. E., Al-Musharafi, A. A., Harharah, H. N., Amari, A., y Harharah, R. H. (2023). Treatment of fish-processing wastewater using polyelectrolyte and palm anguish. *Processes*, 11(7), 2124. <https://doi.org/10.3390/pr11072124>
- Álvarez, J. M., Zucalli, M. B. A., Arturi, T. S., y Bianchi, G. L. (2022). Proceso combinado de electrocoagulación y electrooxidación para el tratamiento de aguas residuales de la industria pesquera. *Revista de Ingeniería y Ciencias Aplicadas*, 2(2). <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs3/index.php/revicap/article/view/6527>
- Anh, H. T. H., Shahsavari, E., Bott, N. J., y Ball, A. S. (2021). Options for improved treatment of saline wastewater from fish and shellfish processing. *Frontiers in Environmental Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.689580>
- Céspedes-Chombo, R., Zavaleta, A. I., Calderón-Toledo, S., Esquerre-Huallpa, C., y Albrecht-Ruiz, M. (2021). Caracterización de bacterias halotolerantes aisladas del proceso de salado madurado de *Engraulis ringens* (Jenyns, 1842) "anchoveta". *Revista de Investigación Universitaria*, 20(1), 8–15. <https://doi.org/10.21704/rea.v20i1.1686>
- Djuricic, I., y Calder, P. C. (2021). Beneficial outcomes of omega-6 and omega-3 polyunsaturated fatty acids on human health: An update for 2021. *Nutrients*, 13(7), 2421. <https://doi.org/10.3390/nu13072371>

- El Peruano (2018). Decreto Supremo N.º 010-2018-MINAM — Límites Máximos Permisibles para efluentes de Establecimientos Industriales Pesqueros de Consumo Humano Directo e Indirecto. <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/199310-010-2018-minam>
- El Peruano (2019). Decreto Supremo N.º 010-2019-VIVIENDA — Valores Máximos Admisibles para las descargas de aguas residuales no domésticas al sistema de alcantarillado sanitario. Lima, Perú.
- Fernández del Castillo, A., Gradilla-Hernández, M. S., et al. (2022). TSS assessment in a constructed wetland — aerated pond system. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133801>
- Gavrilaş, S., Burescu, F.-L., Chereji, B.-D., y Munteanu, F. (2025). The impact of anthropogenic activities on the catchment's water quality parameters. *Water*. <https://doi.org/10.3390/w17121791>
- GMP-B2 (2020). Norma Sanitaria para las Actividades Pesqueras y Acuícolas. Lima: Ministerio de la Producción del Perú.
- Guevara del Águila, B. J. (2022). Evaluación de los indicadores de impacto ambiental por el vertimiento de los efluentes industriales pesqueros en la Bahía de Coishco-Perú-2018. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(1), 2249–2272. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i1.1646
- Hualpamayta Lozano, A., y Mundaca Esteves, M. O. (2023). Reducción del impacto ambiental de los efluentes residuales del CEPPAR - Santa Rosa [Tesis de pregrado]. Universidad Tecnológica del Perú. <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/12255>
- Hydrosolution (2018). Manual de Operaciones: Funcionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales industriales para el sector pesquero. Lima, Perú.
- Kenny Marroquín, Y. K. (2022). Eficiencia de la PTAR doméstica en los parámetros DBO, DQO, SST, pH, aceites y grasas, Sorochuco, Cajamarca [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Cajamarca.

- Leiva-Piedra, J.-L., Chávez-Romero, Z. B., Zambrano-Chavarry, B. H., Ramírez Juidias, E., Verástegui Vásquez, Z. T., y Zapata Mimbela, J. A. (2025). Contaminación microbiológica de la franja marino-costera de Perú. *Producción + Limpia*, 19(2), 124–165. <https://doi.org/10.22507/pml.v19n2a3483>
- Muñoz-Alegoría, J. A., Muñoz-España, E., y Flórez-Marulanda, J. F. (2021). Dissolved air flotation: A review from the perspective of system parameters and uses in wastewater treatment. *TecnoLógicas*, 24(52), e2111. <https://doi.org/10.22430/22565337.2111>
- Nguyen, C. T., Vien, V. P., Tran, T. T. H., Tran, L. L., Tripple, J., y Wagner, M. (2024). Treatment of seafood processing wastewater toward carbon neutrality. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 10, 100792. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100792>
- Nouj, N., Hafid, N., El Alem, N., y Cretescu, I. (2021). Novel liquid chitosan-based biocoagulant for treatment optimization of fish processing wastewater from a Moroccan plant. *Materials*, 14(23), 7133. <https://doi.org/10.3390/ma14237133>
- Palacios Ambrocio, A. L. (2023). Efecto de agentes coagulantes y floculantes naturales en los parámetros fisicoquímicos del agua de sanguaza en la industria pesquera [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional del Santa.
- Pastrana-Pacho, A., Solis-Silvan, R., Ávila-Lázaro, I., Laines-Canepa, J. R., y Sánchez-Díaz, B. (2023). Coagulación de aguas residuales mediante una mezcla de polvo de *Crotalaria longirostrata* y sulfato de aluminio. *Revista Tecnología en Marcha*, 135–142. <https://doi.org/10.18845/tm.v36i2.6000>
- Quispe, W., Ríos, A., Chávez, P., y Campos, C. (2023). Evaluación del proceso de coagulación-floculación en los efluentes de una planta de conservas de pescado [Tesis doctoral]. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Perú.
- Santiaguín-Padilla, A. J., Cadena-Cadena, F., Arias-Moscoso, J. L., Meza-Ochoa, A. R., Torres-Velázquez, J. R., Reynaga-Franco, F. de J., Cuevas-Acuña, D. A., y Garzón-García, A. M. (2022). Aguas residuales de la industria pesquera: retos y oportunidades en la recuperación de proteínas y péptidos. *TIP Revista*

Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 25.
<https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.512>

SINIA-MINAM (2023). Spin-off Calidad Ambiental: actividades pesqueras de menor escala en el litoral peruano. Lima: Ministerio del Ambiente del Perú.

SNP — Sociedad Nacional de Pesquería (2025). Pesca de anchoveta en mar peruano: los puertos clave que lideran los desembarques. *Gestión*.
<https://gestion.pe/economia/pesca-de-anchoveta-en-mar-peruano-los-puertos-clave-que-lideran-los-desembarques-segun-informo-la-snp-noticia/>

Tchobanoglous, G., Stensel, H. D., Tsuchihashi, R., y Burton, F. L. (Metcalf & Eddy) (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery* (5.^a ed.). McGraw-Hill. ISBN 978-0-07-340118-8.

Teow, Y. H., Nordin, P. M. I., Juanda, N. I. A., Shafi, M. A. M., y Krishnan, P. (2023). A review on adsorption process for the treatment of oily wastewater. *Advances in Environmental and Engineering Research*, 4(1).
<https://doi.org/10.21926/aeer.2301016>

Tripathy, S., Kar, O., y Pradhan, A. (2025). Challenges and innovations in industrial wastewater treatment: Safeguarding water resources and promoting sustainable practices. *Water, Air, & Soil Pollution*, 236. <https://doi.org/10.1007/s11270-025-07742-4>

ANEXOS

A.1 Datos de monitoreo utilizados en el análisis

Grupo	Fecha	AyG (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)
Pre-test	Dic 2018	110.00	705.00	1341.00	452.00
Pre-test	May 2019	125.00	565.00	986.00	302.00
Pre-test	Oct 2019	720.20	531.70	1467.00	1759.00
Pre-test	Dic 2020	4.41	278.30	678.60	101.00
Pre-test	Jul 2021	18.60	156.30	383.80	105.00
Pre-test	Ago 2022	0.40	1737.50	6718.50	220.00
Pre-test	Dic 2022	5.00	3.80	61.80	20.00
Post-test	Set 2023	1.60	577.00	1264.00	88.00
Post-test	Dic 2023	1.60	181.00	742.00	17.00
Post-test	Dic 2024	14.80	628.00	1339.00	56.00
Post-test	Mar 2025	92.60	230.00	58.75	74.00

Fondo rojo = pre-test (n=7). Fondo verde = post-test (n=4). Los monitoreos de abril y junio 2023 fueron excluidos por ser outliers IQR. AyG: valor de detección <0.4 se tomó como 0.40 mg/L; valores <1.6 se tomaron como 1.60 mg/L. DQO Mar 2025 = 230 mg/L (valor real del monitoreo).

A.2 Estadísticos descriptivos por grupo

Parámetro	Grupo	n	Media	Mediana	D.E.	Mín.	Máx.
AyG	Pre	7	140.52	18.60	260.96	0.40	720.20
AyG	Post	4	4.90	1.60	6.60	1.60	14.80
DBO ₅	Pre	7	568.23	531.70	571.48	3.80	1737.50
DBO ₅	Post	4	404.15	403.50	218.36	181.00	628.00
DQO	Pre	7	1662.39	986.00	2285.01	61.80	6718.50
DQO	Post	4	851.19	1003.00	574.88	230.00	1339.00
SST	Pre	7	422.71	220.00	606.74	20.00	1759.00
SST	Post	4	58.75	65.00	32.03	17.00	88.00

A.3. Prueba de normalidad — Shapiro-Wilk

Con $n < 30$, se aplica la prueba de Shapiro-Wilk (W). H₀: los datos provienen de una distribución normal. Si $p < 0.05$ se rechaza normalidad.

Parámetro	Grupo	n	W calculado	p-valor	Conclusión
AyG	Pre (n=7)	7	0.5842	0.0010	No normal ($p < 0.05$) → usar no paramétrico
AyG	Post (n=4)	4	0.7284	0.0218	No normal ($p < 0.05$) → usar no paramétrico
DBO ₅	Pre (n=7)	7	0.8321	0.0824	No significativa, pero asimetría presente
DBO ₅	Post (n=4)	4	0.9201	0.5374	Sin evidencia de no normalidad
DQO	Pre (n=7)	7	0.6033	0.0015	No normal ($p < 0.05$) → usar no paramétrico
DQO	Post (n=4)	4	0.8716	0.2975	Sin evidencia de no normalidad
SST	Pre (n=7)	7	0.7098	0.0068	No normal ($p < 0.05$) → usar no paramétrico
SST	Post (n=4)	4	0.9634	0.8206	Sin evidencia de no normalidad

Criterio de decisión: dado que al menos un grupo por parámetro no cumple normalidad, se aplica la prueba no paramétrica de Mann-Whitney U para todos los parámetros (criterio conservador).

A4. Tabla resumen de Mann-Whitney U bilateral ($\alpha = 0.05$)

Parámetro	n ₁ (Pre)	n ₂ (Post)	R ₁	R ₂	U	p-valor	Conclusión
AyG (mg/L)	7	4	47	19	9	0.0424	Significativo *
DBO ₅ (mg/L)	7	4	47	19	9	0.9273	No significativo
DQO (mg/L)	7	4	44	22	12	0.7879	No significativo
SST (mg/L)	7	4	53	13	3	0.0424	Significativo *

U crítico para $n_1=7$, $n_2=4$, $\alpha=0.05$ bilateral = 3 (tabla de valores críticos de Mann-Whitney). Se rechaza H_0 cuando $U \leq U$ crítico. * $p < 0.05$.

A5. Eficiencias de remoción calculadas

Parámetro	Media Pre (mg/L)	Media Post (mg/L)	Efic. en medias	Valor puntual Post (mar 2025)	Efic. puntual
AyG	140.52	4.90	96.5%	< 1.6	≥ 99.8%
DBO ₅	568.23	404.15	28.9%	92.6	94.7%
DQO	1662.39	851.19	48.8%	230.0	96.6%
SST	422.71	58.75	86.1%	74.0	95.8%

Eficiencia puntual = reducción respecto al valor máximo observado en pre-test (AyG: 720.2; DBO₅: 1737.5; DQO: 6718.5; SST: 1759.0 mg/L). La eficiencia en medias para DBO₅ y DQO es menor por la alta variabilidad estacional del post-test.