



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD**

**CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA**

**OPTIMIZACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA  
EMPRESA UNICORSA PARA REDUCIR LOS PARÁMETROS DBO, DQO  
Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS.**

**ANGEL FEIJOO JOAN SEBASTIAN  
INGENIERO QUIMICO**

**JARAMILLO OBACO XIOMARA LISSETH  
INGENIERA QUIMICA**

**MACHALA  
2024**



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD**

**CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA**

**OPTIMIZACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES DE LA EMPRESA UNICORSA PARA REDUCIR  
LOS PARÁMETROS DBO, DQO Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS.**

**ANGEL FEIJOO JOAN SEBASTIAN  
INGENIERO QUIMICO**

**JARAMILLO OBACO XIOMARA LISSETH  
INGENIERA QUIMICA**

**MACHALA  
2024**



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD**

**CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA**

**TRABAJOS EXPERIMENTALES**

**OPTIMIZACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES DE LA EMPRESA UNICORSA PARA REDUCIR  
LOS PARÁMETROS DBO, DQO Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS.**

**ANGEL FEIJOO JOAN SEBASTIAN  
INGENIERO QUIMICO**

**JARAMILLO OBACO XIOMARA LISSETH  
INGENIERA QUIMICA**

**ESPINOZA RAMON WASHINGTON OMAR**

**MACHALA  
2024**



# TESIS\_ANGEL\_JARAMILLO TESIS FINAL CORREGIDA

3%  
Textos sospechosos



2% Similitudes  
0% similitudes entre comillas  
0% entre las fuentes mencionadas  
< 1% Idiomas no reconocidos

Nombre del documento: TESIS\_ANGEL\_JARAMILLO TESIS FINAL CORREGIDA.docx  
ID del documento: a4d732a99969f8f70d4b9e1f05ff6376c8f726d6  
Tamaño del documento original: 6,73 MB  
Autores: []

Depositante: WASHINGTON OMAR ESPINOZA RAMON  
Fecha de depósito: 17/3/2025  
Tipo de carga: interface  
fecha de fin de análisis: 17/3/2025

Número de palabras: 8020  
Número de caracteres: 52.236

Ubicación de las similitudes en el documento:



## Fuentes de similitudes

### Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Documento de otro usuario #dc0e2c El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (82 palabras)
2	localhost   Implementación de tratamiento de aguas residuales mediante proces... http://localhost:8080/xmlui/bitstream/reduq/57490/3/BINGQ-IQ-21P33.pdf.txt	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (44 palabras)

### Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.ucsg.edu.ec   Evaluación de la eficiencia del sistema de tratamiento ... http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/20820/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-480.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
2	hdl.handle.net   Eficiencia De Las Lagunas De Estabilización En La Mejora De La ... https://hdl.handle.net/20.500.12692/32284	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
3	www.academia.edu   (PDF) Analisis Tingkat Pencemaran Air Sungai Krueng Tami... https://www.academia.edu/116836768/Analisis_Tingkat_Pencemaran_Air_Sungai_Krueng_Ta...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
4	www.dspace.espol.edu.ec   Tratamiento de aguas residuales de la industria bor... http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/5851/7/TRATAMIENTO_AGUAS_RESID...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
5	Diseño de un programa de producción más limpia en el Centro de Investigación ... /var/dspace/bitstream/15000/1726/6/CD-2334.pdf.txt	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (14 palabras)

# Puntos de interés

□ Forma, Rectángulo

Descripción generada automáticamente

□

UTMACH  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD  
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
OPTIMIZACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA UNICORSA PARA REDUCIR LOS PARÁMETROS DBO, DQO Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS.

AUTORES:  
ANGEL FEJOO JOAN SEBÁSTIAN  
INGENIERO QUÍMICO

JARAMILLO OBACO XIOMARA LISSETH  
INGENIERA QUÍMICA

TRABAJO DE TITULACIÓN

TUTOR:  
ING. WASHINGTON OMAR ESPINOZA RAMÓN, MSc.

MACHALA

□ Forma, Rectángulo

Descripción generada automáticamente  
2024

DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios por haberme permitido lograr mis objetivos además de su infinita bondad y misericordia.  
Para la persona y mujer más importante en mi vida Sonia Obaco, que es mi madre la cual me inculcó buenos valores y me enseñó a ser la mujer que soy, de la mano de Dios y de la mano de esta mujer guerrera he logrado completar y culminar una etapa muy hermosa en mi vida. Gracias por el apoyo emocional, psicológico y personal madre mía.  
A mi abuelita Nery Bernal, la cual me acogió desde el primer momento y ha sido una persona fundamental en este proceso siempre por motivarme a seguir con mis proyectos de vida y seguirme enseñando a mejorar como calidad de persona día tras día.  
A mi padre Marcos Jaramillo, que me enseñó a no depender de nadie si no a valerme por sí misma en cada situación que me enfrente y saber que todo puedo lograrlo si lo intento.  
Y a mis hermanos Michael y Jandry que juntos me han dado la mano en este sendero para seguir con mis estudios dándome fuerzas y ánimos  
A mi compañero de vida Elías Ordóñez una parte vital en mi ser siempre me ha dado ánimos para no rendirme en este proceso el cual ha conllevado un sinnúmero de contras, pero siempre sabiendo sobrellevarlos.  
Xiomara Lisseth Jaramillo Obaco



**Dedico este logro a mi madre por ser mi pilar inquebrantable y por su amor incondicional.**

Su apoyo, sacrificio y enseñanzas han sido la base sobre la que construyó cada uno de mis logros. Gracias por ser mi guía y mi mayor inspiración en este camino.  
A mi hijo, la luz de mi vida y la mayor motivación para seguir adelante. Cada esfuerzo, cada noche de estudio y cada desafío superado han sido con el propósito de brindarle un futuro mejor. Su sonrisa y amor me han dado la fuerza para nunca rendirme y seguir luchando por mis sueños.  
A ambos, con todo mi amor y gratitud, les dedico este trabajo, fruto de años de esfuerzo y perseverancia.  
Joan Sebastián Ángel Fejoo  
AGRADECIMIENTO

Mi Eterno agradecimiento a Dios que me ha brindado su gracia y su misericordia, paciencia, salud, sabiduría, que con amor me ha cuidado en esta hermosa etapa de mi vida y a mi familia en general por ser siempre mi apoyo fundamental y poder culminar mis estudios de la mejor manera, también a las personas que estuvieron siempre cerca a mis amigos, allegados y conocidos los cuales aportaron siempre en mi vida para seguir teniendo un desarrollo profesional excelente y por ser parte de ella, no es el final si no tan solo el comienzo de mi vida profesional.  
Y a esta prestigiosa institución por permitirme avanzar hacia el éxito para poder convertirme en una profesional competitiva llena de conocimientos y expectativas también quiero agradecer a todos los docentes por brindarme una formación profesional con calidad.  
Gracias a Dios por estar siempre presente en mi vida cuidando de mí y de mis estudios dándome fuerza, fortaleza y sabiduría para seguir en esta constante evolución profesional.  
Xiomara Lisseth Jaramillo Obaco

A lo largo de este camino académico, él contado con el apoyo incondicional de muchas personas a quienes deseo expresar mi más sincero agradecimiento.  
A mis docentes, por compartir su conocimiento y guiarme en mi formación profesional. A mis padres, por su amor, sacrificio y enseñanzas, que han sido la base de mi esfuerzo. A mi hermano, por su compañía y aliento en todo momento. A mis compañeros de aula, por su amistad y colaboración a lo largo de esta etapa. A mis tías, por su apoyo incondicional y sus valiosos consejos.  
A mi mujer, por su paciencia, comprensión y motivación constante, y a mi hijo, quien es mi mayor inspiración y la razón por la que sigo adelante cada día.

A todos ustedes, gracias por ser parte de este logro.  
Joan Sebastián Ángel Fejoo

RESUMEN

Generalmente las industrias pesqueras producen aguas residuales con altas concentraciones de materia orgánica, lo que representa un desafío ambiental significativo. En particular, las plantas procesadoras de harina de pescado requieren sistemas de tratamiento eficientes que permitan la remoción de estos contaminantes, garantizando el cumplimiento de las normativas ambientales vigentes.

En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo optimizar el tratamiento de aguas residuales implementado en la empresa UNICORSA, a través de un proceso a escala de laboratorio diseñado para reducir los niveles de



**hdl.handle.net** | Eficiencia De Las Lagunas De Estabilización En La Mejora De La Calidad Del Agua Residual Para Uso Agrícola, De La Industria Azucarera  
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/32284>

**Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno y Sólidos**

Suspendidos. Estos parámetros, previamente analizados, excedían los límites permisibles para la descarga en cuerpos de agua dulce, evidenciando la necesidad de mejorar la eficiencia del sistema de tratamiento.

Este estudio se desarrolló bajo un diseño experimental, basado en tres etapas de tratamiento: cribado, aireación y bioaumentación mediante la adición de bacterias especializadas en la degradación de materia orgánica, en concentraciones del 5%, 10% y 15%. Para evaluar la eficiencia del proceso implementado, se realizó análisis del agua antes y después del tratamiento. Los resultados evidenciaron que, a medida que aumentaba la concentración de bacterias, se lograba una mayor reducción en los niveles de



**hdl.handle.net** | Eficiencia De Las Lagunas De Estabilización En La Mejora De La Calidad Del Agua Residual Para Uso Agrícola, De La Industria Azucarera  
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/32284>

**Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno y Sólidos**

Suspendidos, confirmando la efectividad del método aplicado.

Los resultados que se obtuvieron demostraron que los tres tratamientos lograron disminuir significativamente los parámetros, siendo el tratamiento con un 15% de bacterias el que consiguió una mayor efectividad logrando disminuir en un 86.49% la DBO, un 78.37% la DQO y un 80.18% los Sólidos Suspendidos. A pesar de haber logrado una reducción significativa de los parámetros de DBO y DQO, los valores obtenidos aún excedían los límites según la normativa ambiental vigente, por lo que se sugiere optimizar aún más el proceso ya sea estableciendo un mayor tiempo de aireación o complementándolo con métodos más eficientes.

Palabras clave: Tratamiento de aguas residuales,



optimización, DBO, DQO, sólidos suspendidos,  
aireación, bacterias.

ABSTRACT

Fishing industries generate wastewater with high concentrations of organic matter, which represents a significant environmental challenge. In particular, fishmeal processing plants require efficient treatment systems to remove these contaminants, ensuring compliance with current environmental regulations.

In this context, the present research aims to optimize the wastewater treatment implemented in the company UNICORSA, through a laboratory-scale process designed to reduce the levels



**www.academia.edu** | (PDF) Analisis Tingkat Pencemaran Air Sungai Krueng Tamiang Terhadap COD, BOD dan TSS | Suhendrayatna Suhendrayatna - Academia.edu  
[https://www.academia.edu/116836768/Analisis\\_Tingkat\\_Pencemaran\\_Air\\_Sungai\\_Krueng\\_Tamiang\\_Terhadap\\_COD\\_BOD\\_dan\\_TSS](https://www.academia.edu/116836768/Analisis_Tingkat_Pencemaran_Air_Sungai_Krueng_Tamiang_Terhadap_COD_BOD_dan_TSS)

**of Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD) and**

Suspended Solids (SS). These parameters, previously analyzed, exceeded the permissible limits for discharge into freshwater bodies, evidencing the need to improve the efficiency of the treatment system.

This study was developed under an experimental design, based on three treatment stages: screening, aeration and bioaugmentation through the addition of bacteria specialized in the degradation of organic matter, at concentrations of 5%, 10% and 15%. To evaluate the efficiency of the implemented process, water analysis was carried out before and after treatment. The results showed that, as the concentration of bacteria increased, a greater reduction in the levels



**www.academia.edu** | (PDF) Analisis Tingkat Pencemaran Air Sungai Krueng Tamiang Terhadap COD, BOD dan TSS | Suhendrayatna Suhendrayatna - Academia.edu  
[https://www.academia.edu/116836768/Analisis\\_Tingkat\\_Pencemaran\\_Air\\_Sungai\\_Krueng\\_Tamiang\\_Terhadap\\_COD\\_BOD\\_dan\\_TSS](https://www.academia.edu/116836768/Analisis_Tingkat_Pencemaran_Air_Sungai_Krueng_Tamiang_Terhadap_COD_BOD_dan_TSS)

**of Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD) and**

Suspended Solids (TSS) was achieved, confirming the effectiveness of the applied method.

The results obtained showed that the three treatments achieved a significant reduction in the parameters, with the treatment with 15% bacteria being the most effective, achieving a reduction of 86.49% in BOD, 78.37% in COD and 80.18% in suspended solids. In spite of having achieved a significant reduction in the BOD and COD parameters, the values obtained still exceeded the limits according to current environmental regulations, so it is suggested to further optimize the process either by establishing a longer aeration time or by complementing it with more efficient.

Keywords: wastewater treatment,



optimization, BOD, COD, suspended solids,  
aeration, bacteria.

## INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas que enfrentan estas industrias es el incremento de residuos, agravando significativamente el daño al medio ambiente, estos residuos se generan como resultado de varios procesos de transformación de la materia prima, contribuyendo de manera importante a la contaminación del agua. La acumulación y liberación de estos desechos por medio de efluentes sin un manejo adecuado puede tener efectos perjudiciales sobre los ecosistemas acuáticos y la calidad del agua intensificando la degradación ambiental. La creciente preocupación por la calidad del agua y la aparición de nuevos contaminantes han llevado a una estricta revisión y fortalecimiento de las normativas reguladoras, en respuesta, los países desarrollados han implementado evaluaciones exhaustivas y mejoras significativas en los sistemas tradicionales de tratamiento y distribución de agua para garantizar su efectividad en la protección de la salud pública y el medio ambiente.<sup>2</sup>

Actualmente, enfrentamos una crisis sin precedentes en términos de contaminación del aire, suelo y agua. El concepto de agua residual se refiere a la combinación de líquidos residuales que transportan contaminantes originados en hogares, instituciones públicas, industrias y establecimientos comerciales. Estas aguas residuales resultan de diversas actividades y procesos, y su gestión adecuada es crucial para mitigar los impactos ambientales y proteger la salud pública.<sup>3</sup>

Un tratamiento adecuado de estas aguas es imprescindible no solo para cumplir con las regulaciones ambientales, sino también para minimizar el impacto negativo en los ecosistemas acuáticos circundantes, las altas concentraciones de DBO, DQO y sólidos suspendidos pueden provocar la mayormente la contaminación en aguas receptoras, afectando gravemente a la fauna y flora acuática y causando fenómenos como la eutrofización.

Entre los posibles tratamientos se incluyen procesos físicos, químicos y biológicos pueden optimizar la reducción. Además, la implementación de tecnologías avanzadas, la inversión en el tratamiento de aguas residuales también puede tener beneficios económicos a largo plazo, al prevenir sanciones regulatorias y mejorar la reputación de la empresa. Asimismo, el aprovechamiento de subproductos derivados del tratamiento, como el biogás, puede contribuir a la eficiencia energética y a la economía circular dentro de la empresa.

La empresa UNIVERSAL DE COMERCIO S.A. (UNICORSA), que comenzó sus operaciones hace aproximadamente año y medio, especializada en la producción de harina de pescado para la alimentación animal, enfrenta un desafío significativo en su sistema de tratamiento de aguas residuales. Los análisis recientes del efluente han revelado que varios parámetros exceden los límites establecidos en el ANEXO 1 del LIBRO VI del TULSMA, conforme al ACUERDO MINISTERIAL 097A, TABLA 9, que regula los límites de descarga en cuerpos de agua dulce.

A pesar de los beneficios nutricionales de la harina de pescado en contraste con otras harinas de origen animal y vegetal, como su alto contenido en proteínas, aminoácidos esenciales, ácidos grasos poliinsaturados y una mejor digestibilidad, la industria procesadora de harina de pescado presenta impactos ambientales adversos significativos.<sup>4</sup> Debido a esta situación, la presente investigación surge como una propuesta de optimización del tratamiento que se le da a estas aguas residuales generadas por el establecimiento, enfocándonos en la reducción de los parámetros de DBO, DQO y sólidos suspendidos con el fin de mitigar el impacto ambiental que genera el efluente al medio ambiente.

## OBJETIVOS

### Objetivo General

Optimizar el tratamiento de las aguas residuales generadas en



www.dspace.espol.edu.ec | Tratamiento de aguas residuales de la industria borcea s.a.  
[http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/5851/7/TRATAMIENTO\\_AGUAS\\_RESIDUALES.pdf.txt](http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/5851/7/TRATAMIENTO_AGUAS_RESIDUALES.pdf.txt)

el proceso de producción de harina de pescado de la

empresa UNICORSA, reduciendo los parámetros DBO, DQO y sólidos suspendidos mediante experimentación en laboratorio, para mejorar la calidad del efluente.

### Objetivos Específicos



Determinar los niveles iniciales de DBO, DQO y sólidos suspendidos presentes en el efluente.

Realizar experimentos controlados a escala laboratorio para evaluar la eficacia de métodos sencillos de tratamiento de aguas residuales, con el objetivo de optimizar la reducción de los parámetros contaminantes DBO, DQO y sólidos suspendidos. Evaluar la calidad del agua residual después de aplicar los tratamientos, comparando los resultados obtenidos con los límites permisibles que establece la normativa vigente para evaluar la efectividad de los métodos de tratamiento aplicados.

## CAPÍTULO I

### MARCO TEÓRICO

#### Agua

Desde el punto de vista químico, el agua es un compuesto formado por la interacción de átomos de hidrógeno y oxígeno mediante enlaces covalentes. Estas fuerzas intramoleculares confieren al agua propiedades distintivas y únicas que la hacen esencial para numerosos procesos biológicos y físicos.<sup>5</sup> En la figura 1, se puede apreciar la estructura molecular del agua. A pesar de la simplicidad de su estructura molecular, el agua no se encuentra en estado gaseoso de forma predominante, sino que puede presentarse en sus tres estados físicos en la naturaleza, se manifiesta en estado sólido en glaciares, estado líquido en mares y ríos, y en estado gaseoso en las nubes.<sup>6</sup>

Figura 1 Estructura molecular del agua.

□

#### Fuente:6

El agua es el recurso más abundante en el planeta, ya que aproximadamente tres cuartas partes de la superficie terrestre están cubiertas por este elemento, además es un constituyente fundamental en la vida humana, siendo un componente esencial del organismo, constituyendo los dos tercios de la masa corporal de una persona adulta.<sup>6</sup> Los ecosistemas acuáticos, específicamente los de agua dulce proporcionan a la sociedad varios recursos y servicios como el control de inundaciones, sistemas de recolección, atracción turística y paisajística, además de ser hábitat de un sin número de especies animales y vegetales.<sup>7</sup> En la figura 2, se observa el recurso hídrico como atracción paisajística.

Figura 2 Recursos hídricos.

□

#### Fuente:8

El agua es un recurso indispensable para la vida y desarrollo medio ambiental, sin embargo, una fracción limitada de recursos hídricos disponibles en la Tierra corresponde a agua dulce accesible para uso humano.<sup>9</sup> La mayor parte de la superficie terrestre está cubierta por agua, con una predominancia en los océanos de forma líquida, también, una significativa proporción se encuentra en forma congelada en glaciares y capas de hielo, siendo solo un pequeño porcentaje de ella agua dulce, distribuida en lagos, ríos, lagunas y otros cuerpos acuáticos.<sup>10</sup>

Propiedades. El agua posee propiedades únicas que la convierten en un recurso esencial para la vida. Su capacidad para disolver una amplia gama de sustancias la clasifica como el "solvente universal". Además, el agua desempeña un papel crucial en diversos procesos metabólicos. Notablemente, tiene la característica inusual de expandirse al congelarse, lo que influye en su comportamiento y en los ecosistemas que depende de ella. <sup>11</sup>

Calidad del agua. La calidad del agua es un factor determinante para la salud de las personas, por lo que su control resulta fundamental, el garantizar agua de calidad no solo beneficia su consumo, sino que también facilita la selección del tratamiento más adecuado para reducir la contaminación y brindar una distribución segura.<sup>7</sup> Al ser uno de los recursos más importantes para el desarrollo de la vida en el planeta, es imprescindible que el agua sea consumida en las mejores condiciones para impedir daños al organismo de los seres vivos, a pesar de ello, en muchos lugares no se cuenta con la calidad óptima para consumo debido a factores como la falta de inversión estatal y a la escasa cultura por parte de la población.<sup>12</sup> El tratamiento y la potabilización del agua son aspectos fundamentales para garantizar su calidad y preservar la salud humana, así como la de otras especies. En muchas regiones, este recurso es escaso o de difícil acceso, y los costos asociados a su potabilización pueden ser considerablemente elevados. Además, la creciente contaminación del agua representa un desafío ambiental crítico, lo que resalta la necesidad urgente de fortalecer la educación ambiental y promover prácticas sostenibles para su conservación y uso responsable.<sup>13</sup>

Contaminación del agua. Se entiende como la acción de inducir o modificar las condiciones naturales del agua de manera directa o indirecta provocando una alteración en su composición que perjudica a la calidad de este recurso.<sup>14</sup> El recurso hídrico contribuye de gran manera al crecimiento y desarrollo de un país, sin embargo, mediante las actividades antropicas se ha vuelto vulnerable ante contaminantes procedentes de industrias, zonas urbanas, agricultura y minería.<sup>15</sup>

Las principales fuentes de contaminación suelen ser de origen bacteriano, puesto que la gran mayoría de enfermedades que presentan los humanos son provocadas por agentes infecciosos originarias de aguas sucias no aptas para el consumo que genera una contaminación fecal.<sup>16</sup> En la Figura 3, se pueden observar las clases de agentes contaminantes que existen en el agua.

Figura 3 Agentes contaminantes del agua.

□

#### Fuente:14

Aguas Residuales.

Las aguas residuales son una de las principales fuentes de contaminación para los cuerpos de agua ya que mediante su descarga se introduce una variedad de contaminantes que

ocasionan afecciones directa e indirectamente tanto al recurso suelo como a la vida acuática.<sup>17</sup> En la figura 4, se logra visualizar las aguas residuales y efectos contaminantes. Figura 4 Descarga de aguas residuales.

□

Fuente: 18

Son aguas contaminadas generadas por el hombre cuando provocan una alteración de sus condiciones naturales directa o indirectamente, lo cual perjudica su calidad. Se constituye por una variedad de materias orgánicas e inorgánicas y con sólidos suspendidos o disueltos. Pueden resultar de actividades domésticas o industriales.<sup>19</sup>

Son también conocidas como "Aguas Negras", esto debido a la tonalidad oscura con la que se manifiestan como consecuencia de actividades antropogénicas, siendo un gran riesgo ante el bienestar de las personas y el medio ambiente ya que están compuestas por sustancias peligrosas o microorganismos indeseables.<sup>20</sup> Dependiendo del origen de procedencia de estas aguas, suelen dividirse en cuatro tipos: aguas residuales domésticas, industriales, de agricultura y las provenientes de lluvias ácidas.<sup>21</sup>

Clasificación de las aguas residuales. Dependiendo de su origen, las aguas residuales se pueden llegar a clasificar en:

Aguas residuales industriales. El término de aguas residuales industriales se da como una referencia a las aguas que presentan una contaminación algo compleja, afectando de esta manera negativamente al entorno y generando problemas tóxicos y malos olores en el ecosistema natural.<sup>22</sup>

Aguas residuales domésticas: Las aguas servidas, como se las denomina también a las aguas residuales de origen doméstico, son resultado de las actividades rutinarias de las personas, tanto por alteraciones fisicoquímicas como biológicas, estas aguas no son aptas para el consumo humano y su medio de descarga hacia el entorno es el alcantarillado o por su disposición directa.<sup>23</sup>

Aguas residuales urbanas: Se definen como el conjunto de residuos líquidos originados a partir de actividades domésticas e industriales, estas aguas presentan una gran gama de contaminantes transportados por la red de alcantarillado, que suele desembocar en fuentes de agua al aire libre.<sup>24</sup>

El tratamiento más eficiente realizado para este tipo de aguas, es implementar métodos basados en procesos biológicos debido a que las aguas urbanas presentan gran cantidad de materia orgánica.<sup>25</sup> La composición de estas varía dependiendo de factores como el sitio donde se encuentran, la temperatura, el origen del agua, entre otros.<sup>17</sup>

Características de las aguas residuales. Las aguas residuales contienen una mezcla compleja de contaminantes, estos contaminantes proporcionan características que incluyen sólidos suspendidos, materia orgánica, metales pesados, microorganismos patógenos, compuestos químicos tóxicos, entre otros. Cada componente influye significativamente en la calidad del agua y el medio ambiente. En la tabla 1, se observan las características que presentan las aguas residuales.

Tabla 1 Características propias de las aguas residuales.

CARACTERÍSTICAS FACTOR

físicas Olor Color Temperatura Sólidos suspendidos Sólidos totales Turbidez

químicas Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) Demanda Química de Oxígeno (DQO) Grasas y aceites Materia orgánica Metales pesados pH

BIOLOGICAS Bacterias Coliformes fecales Oxígeno disuelto (OD) Microorganismos patógenos

Fuente: Elaboración propia.

Parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua residual. Son indicadores que permiten conocer las propiedades del agua para diferentes fines, entre los parámetros que se tomarán en cuenta están:

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): La Demanda Bioquímica de Oxígeno, conocida por sus sigas DBO, es un factor mediante el cual se indica la cantidad de oxígeno que logra ser consumido por microorganismos aerobios durante el proceso de oxidación de sustratos orgánicos que se encuentren presentes en un medio acuoso.<sup>26</sup>

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Factor que indica la cantidad de oxígeno que se consume al producirse la oxidación de la materia orgánica presente en una muestra de agua con intervención de compuestos químicos.<sup>27</sup>

Sólidos suspendidos: El agua contiene sólidos que pueden impactar en su calidad. En el caso de las aguas residuales, los sólidos representan una preocupación importante, ya que afectan directamente la gestión y el tratamiento de los lodos generados.<sup>28</sup> Entre los diferentes tipos de sólidos presentes, los sólidos suspendidos son particularmente relevantes, ya que permanecen en suspensión en el agua y pueden complicar el proceso de tratamiento.

Importancia del tratamiento de aguas residuales. Conforme el ámbito industrial crece con el paso de los años, se genera cada vez más contaminación en el recurso agua, que, junto con un mal o nulo tratamiento, ocasiona efectos negativos en su calidad, por eso el tratamiento inadecuado de este conlleva a un gran problema, por la mala higiene y saneamiento de estas aguas, se pueden generar afecciones por parásitos que ingresan a nuestro cuerpo por contacto con los efluentes.<sup>20</sup>

Impacto de las aguas residuales sin tratar. Las industrias, al manejarse en el sector productivo, generalmente suelen presentar varios factores que afectan su sostenibilidad, entre ellos están el excesivo uso de los recursos naturales y los efectos negativos que suelen ocasionar las descargas de residuos al ambiente.<sup>25</sup> Las aguas residuales o aguas de cola que se generan en procesos de producción de la harina de pescado conllevan a un problema grave dentro de la industria pesquera, esto debido a que las aguas presentan concentraciones, en muchas ocasiones, demasiado elevadas de parámetros como los DBO, DQO y sólidos suspendidos, es por ello que la búsqueda de métodos que sean eficientes y económicos para la disminución de este parámetro son de gran importancia para las cadenas de producción.

La industria procesadora de harina de pescado genera aguas residuales con alta concentración de materia orgánica, por lo que la descarga de estos efluentes sin tratamiento es un problema ambiental muy grave, ya que dependiendo del tipo de pescado y del procesamiento implementado para producirla se puede generar de un 20 a 80 % de desechos.<sup>29</sup>

La problemática encontrada dentro de la producción de harina de pescado es la contaminación del medio ambiente, específicamente en cuerpos marinos que gracias a la mala disposición y descarga de efluentes que contienen desechos procedentes de las aguas de bombeo y aguas de cola que se generan dentro de las industrias, no solo los cuerpos de agua son afectados, sino también los alrededores de establecimiento, esto a causa de la sedimentación de residuos orgánicos como escamas, espinas y sangre que se vuelven materia orgánica con olores sulfurosos y de colores oscuros, que alteran la composición de las propiedades físicas, químicas y biológicas del medio. <sup>30</sup>

Tratamiento de aguas residuales. Se define como el proceso mediante el cual se remueven elementos o sustancias que contaminan el recurso hídrico, con el objetivo de impedir que el agua presente aspectos negativos en su calidad, generalmente a las aguas residuales se les provee de un tratamiento secundario con el que se logra la reducción o eliminación de la carga orgánica presente en la misma, uno de estos tratamientos secundarios más usados es el tratamiento biológico.<sup>21</sup> En la figura 5, se observa los procesos básicos del tratamiento de aguas residuales.

Figura 5 Piscinas de tratamiento de aguas.

□

Fuente: 31

Estos procesos han avanzado con forme a investigaciones e innovaciones a nivel mundial, encontramos procesos físicos adecuados dependiendo de las propiedades que presenten las partículas de agua y así se pueden aplicar métodos de separación como uno de los conocidos de la sedimentación; también existen procesos de carácter químico que forman partículas con diferencia de densidades haciendo uso de productos como coagulantes y floculantes para lograr una separación eficiente; En América Latina es común la separación o remoción de residuos por medio de tratamientos biológicos, usando microorganismos que consumen la materia orgánica.<sup>32</sup>

Pretratamiento: Es uno de los principales sistemas a tomar en cuenta para el tratamiento de aguas residuales, su función es adecuar el efluente para facilitar la ejecución de las etapas siguientes del proceso.<sup>33</sup> El pre tratamiento se basa en remover sólidos flotantes de mayor tamaño que pueden perjudicar la continuidad del proceso mediante medios físicos como trampas, rejas manuales o mecánicas, plásticos, etc.<sup>34</sup>

Tratamiento Primario: Suelen usarse métodos físicos para separar los sólidos capaces de sedimentarse formando lodos que se pueden remover para su posterior tratamiento.<sup>17</sup> Si bien se usan métodos físicos para remover grasas y arenas, también se realizan procesos químicos los cuales ayudan a corregir el pH de las aguas a tratar.<sup>25</sup>

Tratamiento Secundario: Por lo general, este tratamiento se basa en procesos biológicos como a adición de microorganismos aerobios o anaerobios que degradan la materia orgánica presente en el agua residual, entre estos podemos mencionar los lodos activados, reactores anaerobios, entre otros.<sup>17</sup>

Tratamiento Terciario: La implementación de este tipo de tratamiento se basa en la desinfección del agua residual para asegurar que es segura su descarga al medio ambiente. Son empleados métodos adicionales tanto físicos como químicos capaces de eliminar los contaminantes que aún pueden presentar las aguas residuales.

Métodos para el tratamiento de aguas residuales. Para los efluentes de industrias pesqueras, existen metodologías para su tratamiento, pero es importante hacer un pretratamiento primario porque para implementarlos se reduce e incluso elimina materia orgánica como grasas, proteínas y residuos sólidos, lo que puede ocasionar que los tratamientos posteriores no tengan eficiencia como la implementación de agentes biológicos. 1



**Métodos físicos:** Se basan en técnicas físicas para lograr eliminar contaminantes sin modificar la composición química del agua. Estos métodos se clasifican en filtración y adsorción, cada uno con desventajas notables. En el caso de la filtración, la duración del proceso está restringida por la vida útil de los medios filtrantes, lo que puede limitar la eficiencia operativa. Por otro lado, la adsorción requiere una gran superficie de instalación, lo que implica una inversión significativamente mayor.<sup>35</sup>

**Métodos químicos:** Estos métodos implican la adición de sustancias inorgánicas al agua, que facilitan significativamente los procesos de floculación y precipitación de iones metálicos, se utilizan comúnmente sales de hierro o aluminio para promover estos procesos.<sup>35</sup> Son especialmente valorados en países en desarrollo debido a su bajo costo y accesibilidad, lo que permite una implementación económica y efectiva en el tratamiento de aguas.

**Métodos biológicos.** Son tratamientos secundarios, se realizan para transformar toda la materia orgánica disuelta en el agua residual en sedimentos para su posterior separación. Estos métodos son indispensables los microorganismos adecuados ya que estos degradan la materia orgánica soluble y reducen así la concentración de DBO y DQO. <sup>3</sup>

**Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales.** En la actualidad, se usan distintas técnicas que se enfocan en aspectos como la ecoeficiencia, las buenas prácticas y el análisis del ciclo de vida, orientados en el área de tratamiento de aguas residuales, para lo que pretende mejorar los procesos y asegurar la disposición adecuada de los residuos de estas aguas.<sup>36</sup>  
**Lodos activados:** En cuanto a tratamiento de aguas por lodos activados, nos referimos a una tecnología o proceso secundario implementado normalmente por industrias, que se realiza mediante el uso de microorganismos que, al permanecer en las aguas residuales, descompondrán la materia orgánica en complejos más sencillos, este tratamiento se da en tanques sedimentarios en los cuales se realiza una separación del agua tratada y de productos de la degradación, llamados también lodos residuales.<sup>37</sup>

Los lodos residuales son los subproductos que se generan tras el tratamiento de aguas residuales, esta denominación se les atribuye a los sólidos en suspensión en el interior de un líquido, como lo es el caso de las aguas residuales, estos lodos son contaminantes capaces de inducir el deterioro de los ecosistemas y del ambiente si no se tratan correctamente.<sup>38</sup>  
**Digestión anaerobia:** Proceso microbiológico que se genera en una fase líquida convirtiendo la materia orgánica, por degradación, en un gas capaz de usarse como combustible (biogás), y microorganismos como lodos.<sup>39</sup>

**Bioaumentación:** Considerada como una de las tecnologías más comunes para el tratamiento de aguas residuales ya que utiliza cepas bacterianas que son especializadas para este tipo de procesos bajo condiciones óptimas, la elección de estas cepas depende específicamente de los contaminantes que se desean tratar.<sup>40</sup>

**Biofiltros:** La implementación de biofiltros, denominada también como proceso de biofiltración, busca retener sustancias contaminantes haciendo uso de medios orgánicos que funcionan como resinas a través de mecanismos de adsorción y absorción, fomentando de esta manera el desarrollo de microorganismos capaces de degradar los contaminantes presentes en las aguas residuales.<sup>36</sup>

**Membranas:** La implementación de membranas es una de las técnicas con gran eficiencia si se busca un tratamiento de calidad, las membranas son selectivas y por ende permite una eficaz recuperación de nutrientes; se encuentran compuestas de materiales tanto orgánicos como inorgánicos.<sup>9</sup>


**Flotación por aire disuelto.** Técnica que se basa en la inyección de aire disuelto en el agua a tratar provocando la flotación de los contaminantes hacia la superficie para facilitar su remoción, de esta manera el tiempo de sedimentación de los sólidos suspendidos es reducido.<sup>25</sup> Este método consiste en un tanque de flotación donde se dividen dos sectores, uno de ellos es la zona de contacto donde las partículas de aire colisionan y el otro es la zona de separación que es la aglomeración de partículas que flotan a la superficie creando una capa de lodo o espuma.<sup>41</sup>

#### Normativa ambiental vigente

Para poder cumplir con el objetivo propuesto de mejorar la calidad del agua residual que se genera en los procesos de producción de harina de pescado, se toma en cuenta la normativa ambiental vigente, considerando el anexo 1 encontrado en el libro VI del TULSMA, concretamente en la norma basada en la calidad ambiental y la descarga de efluentes hacia el recurso agua.

Norma general para descarga de efluentes hacia cuerpos de agua dulce. La norma busca mantener la calidad del agua mediante límites estandarizados enfocados en la descarga de efluentes, priorizando que estos no contaminen de manera significativa a los cuerpos de agua dulce. En este contexto, se utilizan los valores expresados en la tabla 9 del anexo 1 del libro VI del TULSMA, en la Tabla 2, encontramos los límites permisibles para descarga a un cuerpo de agua dulce.

Tabla 2 Límites máximos para la descarga a un cuerpo de agua dulce.  
Parámetros Expresado unidad Límite máximo

 **6 Documento de otro usuario**  
El documento proviene de otro grupo

Aceites y Grasas. Sust. solubles en hexano mg/l 30

Alkil mercurio mg/l No detectable

Aluminio Ai mg/l 5.0

Arsénico total As mg/l 0.1

Bario Ba mg/l 2.0

Boro Total B mg/l 2.0

Cadmio Cd mg/l 0.02

Cianuro total CN mg/l 0.1

Cinc Zn mg/l 5.0

Cloro Activo Cl mg/l 0.5

Cloroformo Ext. carbón cloroformo ECC mg/l 0.1


Cloruros Cl mg/l 1000

Cobre Cu mg/l 1


Cobalto Co mg/l 0.5

Coliformes Fecales NMP NMP/100 ml 2000

Color real Color real unidades de color

 **7 localhost | Implementación de tratamiento de aguas residuales mediante proceso de oxidación avanzada y adsorción con carbón activado del cantón Santa Rosa**  
<http://localhost:8080/xmlui/bitstream/20820/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-480.pdf>

Inapreciable en

 **8 repositorio.ucsg.edu.ec | Evaluación de la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas de El Morro y propuesta de rehabilitación y ampliación p...**  
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/20820/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-480.pdf>

dilución:

1/20

Compuestos fenólicos Fenol mg/l 0.2

Estaño Sn mg/l 5.0

Fósforo Total P mg/l 10

Hierro total Fe mg/l 10

Hidrocarburos Totales de Petróleo TPH mg/l 20.0

Manganeso total Mn mg/l 2.0

Materia flotante Visibles Ausencia

Fuente:42

Tabla 3 Continuación.

Parámetros Expresado unidad Límite máximo

Mercurio total Hg mg/l 0.005

NÍQUE | Ni mg/l 2.0  
Nitrógeno amoniacal N mg/l 30.0  
Nitrógeno Total Kje dahl N 50.0



localhost | Implementación de tratamiento de aguas residuales mediante proceso de oxidación avanzada y adsorción con carbón activado del cantón Santa Rosa  
<http://localhost:8080/xmlui/bitstream/redug/57490/3/BINGQ-IQ-21P33.pdf.txt>

Compuestos Organoclorados Organoclorados totales mg/l 0.05

Compuestos Organofosforados Organofosforados totales

mg/l 0.1

Plata Ag mg/l 0.1

Plomo Pb mg/l 0.2

Potencial de hidrógeno pH 6-9

Selenio Se mg/l 0.1

Sólidos Suspendidos Totales SST mg/l 130

Sólidos totales ST mg/l 1600

Sulfatos SO<sub>4</sub> mg/l 1000

Sulfuros S<sub>2</sub> mg/l 0.5

Temperatura °C Condición natural + 3



Diseño de un programa de producción más limpia en el Centro de Investigación y Control Ambiental (CICAM) de la Escuela Politécnica Nacional  
[/var/dspace/bitstream/15000/1726/6/CD-2334.pdf.txt](http://dspace/bitstream/15000/1726/6/CD-2334.pdf.txt)

Tensoactivos Sustancias Activas al azul de metileno 0.5

Tetracloruro de carbono Tetracloruro de carbono

mg/l 1.0

Fuente:42

## CAPÍTULO II

### METODOLOGÍA

Partiendo de un diagnóstico inicial, se realizaron análisis generales del agua residual generada en el proceso de fabricación de harina de pescado por parte de la empresa. Los resultados obtenidos mostraron que algunos de los parámetros superaban los límites permisibles, entre ellos DBO, DQO y Sólidos Suspendidos, al no cumplir con la normativa ambiental vigente se evidenció que la empresa tiene la necesidad de optimizar el sistema de tratamiento de aguas residuales.

La optimización consiste en la implementación de un proceso de tratamiento de aguas residuales a escala laboratorio, demostrando la eficacia que puede proporcionar un sistema sencillo para reducir los niveles de DBO, DQO y Sólidos Suspendidos, este tratamiento se basa principalmente en la aplicación de un sistema de aireación que promueva a la oxigenación del agua y favorezca la actividad microbiana, como un tratamiento posterior se adicionan bacterias específicas que son capaces de degradar de manera eficaz la materia orgánica presente en el efluente.

Con los valores obtenidos tras la experimentación, se busca evaluar la viabilidad del método con el fin de que en un futuro la empresa pueda considerar su implementación dentro de sus instalaciones. En la figura 6 se muestra un diagrama que indica el proceso general que se llevó a cabo para la optimización del tratamiento de aguas residuales generadas en el proceso de fabricación de harina de pescado de la empresa UNICORSA.

En la Figura 6, se encuentra desarrollado el proceso general que se llevó a cabo para la implementación del sistema de optimización de tratamiento de aguas residuales generadas en el proceso de fabricación de harina de pescado.

Figura 6 Diagrama general del proceso de optimización.

□

Fuente: Elaboración propia.

#### 2.1 Sujeto/s o unidad/es de análisis

2.1.1 Ubicación de la investigación. El presente trabajo de desarrollo de titulación se realizó en la Universidad Técnica de Machala en el Laboratorio de Investigaciones de Biomateriales, perteneciente a la Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud. Para la lectura de los análisis se realizó ANAVANLAB.

2.2.2 Recolección de la Muestra. Las muestras de agua fueron recolectadas en un punto de muestreo previamente designado dentro de las instalaciones de la empresa UNICORSA situada en el cantón Arenillas, geográficamente ubicada en las siguientes coordenadas 3°30'44"S/80°11'22"W, tiene un área de 27.013,02 m<sup>2</sup> dentro de sus principales actividades esta la elaboración de harina de pescado para alimentación animal. En la figura 7, se encuentra la ubicación geográfica de dicha empresa.

Figura 7 Ubicación de la Empresa Unicorsa.

□

Fuente: Elaboración Propia.

2.2.5 Funcionamiento del sistema actual para tratar las aguas residuales. El proceso de tratamiento de aguas residuales actualmente implementado por la empresa consta de cuatro etapas fundamentales, cada una con una función específica orientada a la adecuación del efluente antes de su disposición final, ya sea para su reutilización en procesos internos o para su descarga conforme a la normativa ambiental vigente. En la Figura 8 se presenta un esquema de la distribución de este sistema, utilizado para el tratamiento del agua residual generada durante la producción de harina de pescado.

Figura 8 Diagrama del sistema de tratamiento de aguas residuales implementado en la empresa UNICORSA.

□

Fuente: Elaboración propia.

2.2.5.1 Trampa de grasas. El agua residual que contiene los desechos de la materia prima al momento de la fabricación de harina de pescado se dirige principalmente a una trampa de grasa cuya función radica en la remoción de grasas y residuos orgánicos provenientes de la planta procesadora.

2.2.5.2 Piscina de lodos. El agua libre de grasas y aceites es dispuesta a un estanque de poca profundidad a cielo abierto donde algunos sólidos en suspensión se sedimentan quedando al fondo del estanque.

2.2.5.3 Tanque con aireadores. El agua que ingresa a este estanque es removida por dos equipos mecánicos instalados en el interior del estanque que giran para airear y mezclar el agua residual facilitando la degradación de la materia orgánica aún presente.

2.2.5.4 Tanque de retención. El agua que pasa por todos los procesos anteriores es dispuesta en un estanque profundo donde se retiene de manera temporal hasta la posible reutilización o descarga

#### 2.2 Materiales y Métodos

2.2.1 Materiales, Reactivos y Equipos. Los materiales, equipos y reactivos utilizados en el desarrollo de la fase experimental de este trabajo de titulación se detallara a continuación en la tabla 3.

Tabla 4 Materiales y equipos.

Reactivos Materiales Equipos

MelazaMezcla de bacilos de múltiples C BIO-ALIBACILS-ML-01 Batas de laboratorio Mascarillas Cubeta plástica frascos ámbar de 1L 1 frasco de reacción de 2000 ml Papel Filtro Guantes Balanza analítica (OHAUS PX223) Bomba de aire

Fuente: Elaboración propia

2.2.2 Diseño experimental. El sistema implementado se basó en la combinación de dos procesos sencillos para mejorar la eficiencia en la remoción de materia orgánica del efluente, la aireación fue usada para incrementar la presencia de oxígeno y facilitar la actividad microbiana, y la adición de bacterias para optimizar el proceso del tratamiento.

2.2.3 Proceso de Activación de Bacterias.

2.3.2.1 Preparación del inóculo. Las bacterias que se utilizaron fueron una mezcla de bacilos de múltiples C BIO-ALIBACILS-ML-01, bacterias facultativas con una amplia aplicación para diversos sistemas de tratamiento, capaces de degradar materia orgánica presente en una variedad de residuos industriales. Para su preparación se requirió diluir la melaza en agua, para ello se colocaron 250 ml de melaza y se aforó a 1000 ml con agua destilada para luego homogeneizarla hasta que la mezcla se presentó bien diluida.

Una vez diluida la melaza se añadieron las bacterias en una concentración del 10% teniendo en cuenta el volumen de mezcla y se dejó reaccionar de 24 a 48 horas.

Figura 9 Diagrama del proceso para preparar el inóculo.

□

Fuente: Elaboración propia.

2.2.4 Pretratamiento.

2.2.4.1 Cribado. Se colocó en la parte superior de una cubeta de plástico una malla de octavo. El tamaño de luz de malla que se tomó en cuenta para el cribado fue determinado por el tamaño mínimo de los sólidos encontrados en la descarga del agua residual. Se trasvasó el agua residual obtenida de la empresa UNICORSA usando la malla de octavo que retuvo y separó los sólidos de mayor dimensión como escamas, espinas y cabezas de camarón, entre otros. La Figura 10, muestra como fue el proceso para retener los sólidos de mayor tamaño presentes en el agua residual.

Figura 10. Diagrama del proceso de cribado.

□

Fuente: Elaboración propia.

2.2.5 Tratamiento primario.

2.2.5.1 Aireación con bomba (oxigenación). El agua residual que se filtró anteriormente, fue vertida en un tanque abierto con una bomba acoplada en la parte inferior, esto se realizó con la intención de administrar aire para favorecer la degradación de la materia orgánica que se encontraba presente en el agua residual. Para generar las burbujas de aire pequeñas y mejorar la transferencia del oxígeno se utilizó un tubo de PVC agujerado como difusor. Posterior a ello, el agua que se trató por este método se colocó en frascos ámbar con capacidad de 1 Litro para facilitar el siguiente proceso. En la figura 11, se muestra el diagrama del proceso que se llevó a cabo para la oxigenación del agua residual.

Figura 11. Diagrama del proceso de aireación.

□

Fuente: Elaboración propia.

2.2.6 Tratamiento secundario.

2.2.6.1 Uso de bacterias. Se prepararon tres frascos ámbar, los cuales contenían muestras de agua residual previamente sometida al proceso de aireación. A cada frasco se les agregó una solución de bacterias activadas en diferentes concentraciones: 5,10 y 15% del volumen total del agua tratada contenida en cada frasco, respectivamente. Se dejó reaccionar el inóculo por un transcurso de 5 días. Durante ese periodo de tiempo, fue necesario dejar escapar los gases que se acumulaban de manera periódica.

Preparación de materiales: los frascos ámbar son esterilizados en el autoclave por alrededor de 45 min.

Adición de agua: Se coloca 1L de agua residual en cada frasco ámbar.

Adición de bacterias: se colocaron 50, 100 y 150 ml del inóculo respectivamente en cada frasco.

Reacción: Se deja reaccionar las bacterias en un transcurso de 5 días.

Figura 12. Diagrama del proceso de bioaumentación.

□

Fuente: Elaboración propia.

2.2.7 Determinación de parámetros.

2.2.7.1 Determinación de sólidos suspendidos. Se colocó papel filtro en un embudo de vidrio y se procedió a verter el agua residual lentamente. Una vez filtrada toda el agua residual tratada se dejó secar el papel filtro. Una vez secado se pesó el filtro y se restó el peso inicial con el peso obtenido luego del proceso.

2.2.7.2 Determinación de DBO Y DQO. La determinación de los parámetros de DBO y DQO se realizaron en el Laboratorio Anavanlab, laboratorio acreditado para realizar este tipo de análisis por motivo de no contar con los materiales y equipos necesarios.

2.2.8 Proceso de recolección y análisis de los datos

2.2.8.1 Técnica de recolección de datos: Para esta investigación, se ha propuesto emplear una técnica experimental y analítica en laboratorio, la cual facilitará la obtención de datos precisos y detallados sobre la disminución de los parámetros DBO, DQO y sólidos suspendidos.

2.2.8.2 Procesamiento de datos: Para esta investigación, se ha optado por un enfoque de diseño que incluye la organización de datos y el análisis básico a través de gráficos de dispersión y análisis de varianza (ANOVA). Estos análisis se realizarán utilizando el programa Excel, lo que permitirá una interpretación clara y una presentación efectiva de los resultados.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 Caracterización del agua residual

Antes de la implementación del proceso de optimización del tratamiento de aguas residuales propuesto, se realizaron análisis preliminares con el objetivo de evaluar las condiciones del efluente. Los resultados obtenidos demostraron que existen varios parámetros en concentraciones elevadas, siendo parte de ellos la DBO, DQO y sólidos suspendidos. La Tabla 4 muestra la comparativa de los datos obtenidos con los límites de la normativa ambiental vigente para los parámetros de DBO, DQO y Sólidos Suspendidos.

Tabla 5 Concentraciones de parámetros en agua residual.

Parámetro Resultado Norma Unidades

DBO 2296 100 mg/L

DQO 3145 200 mg/L

Sólidos Suspendidos 429 130 mg/L

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, los valores obtenidos sobrepasan los límites de la norma: AM097A, Anexo 1, Tabla 9, correspondientes a los límites máximos que se permiten para descargar el agua residual hacia un cuerpo de agua dulce, evidenciando de esta manera que en la empresa existe la necesidad de optimizar el tratamiento de sus aguas residuales para reducir el impacto ambiental que estas generan.

3.2 Caracterización físico química del agua tratada

Una vez recolectadas las muestras se procedió a realizar los análisis correspondientes a cada uno. En la tabla 5, se observan los datos obtenidos de los análisis de cada una de las muestras de agua tratada.

Tabla 6 Caracterización del agua residual tratada.

Muestra Bacterias (%) DBO (mg/L) DQO (mg/L) SS (mg/L)

1 5 850 1540 190

2 10 520 1020 120

3 15 310 680 85

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1 Análisis de eficiencia de tratamiento. Para calcular la eficiencia que tuvo el método en cada parámetro se utilizó la siguiente fórmula:

Donde:

C. inicial: Concentración del agua residual sin tratar (mg/L).

C. final: Concentración del agua residual tratada (mg/L).

Con la fórmula de eficiencia, se calcula el rendimiento que tuvo cada uno de los tratamientos realizados con las tres concentraciones de bacterias utilizadas para cada parámetro. En la tabla 6. Se evidencia el porcentaje de eficiencia de cada una de las muestras tratadas.

Tabla 6 Eficiencia del agua residual tratada.

Muestra Bacterias % DBO mg/L Eficiencia DBO % DQO mg/L Eficiencia DQO % SS mg/L Eficiencia SS %

inicial 0 2296 0 3145 0 429 0

1 5 850 62.97 1540 51.03 190 55.71

2 10 520 77.35 1020 67.56 120 72.02

3 15 310 86.49 680 78.37 85 80.18

Fuente: Elaboración propia.

Una vez calculado el porcentaje de eficiencia del tratamiento de aguas residuales, se observa una relación proporcional entre la concentración de bacterias y la efectividad del proceso. Es decir, a medida que la concentración de bacterias aumenta, se logra una mayor reducción en los contaminantes evaluados. En este estudio, se alcanzaron reducciones del 86% en DBO, 78% en DQO y 80% en Sólidos Suspendidos, lo que demuestra la influencia positiva de una mayor carga microbiana en la eficiencia del tratamiento. En la Figura 13, se puede observar que con la mayor concentración de bacterias (15%) se obtiene una eficiencia significativa en la remoción de los niveles de DBO, DQO y Sólidos Suspendidos.

Figura 13. Gráfica de dispersión del porcentaje de eficiencia del tratamiento.

□ □

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó un análisis de varianza de un factor (ANOVA) con los datos obtenidos de las muestras con diferentes concentraciones de bacterias para valorar el impacto que tuvo el proceso de tratamiento de aguas residuales para la reducción



[dSPACE.ucacue.edu.ec](https://dSPACE.ucacue.edu.ec/bitstream/ucacue/799177/CHU%3911R%20G.%20HENRRY%20M...pdf.txt) | Optimización de un reactor biológico para la depuración de aguas residuales urbanas con fangos activados en plantas de tratamiento emplaza...

de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Sólidos Suspendidos (SS).

Tabla 7 Análisis de varianza del agua residual tratada con 5%, 10% y 15% de concentración de bacterias.

Grupos Cuenta Promedio Varianza F p valor Crítico

850 2 415 22050 10.5097 0.04414 9.55209

1540 2 850 57800

190 2 102.5 612.5

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 7, se muestran los resultados del análisis ANOVA realizados en excel, observando que el valor F es 10.51 mismo que supera su valor crítico (9.55). El nivel alfa que se estableció fue de 0.05, y teniendo en cuenta que su p valor es de 0.04414 se considera que existen diferencias significativas entre los tres tratamientos.

Añadiendo distintas concentraciones de microorganismos en el proceso, se concluye que las bacterias influyen de manera significativa en la reducción de contaminantes. Por ende, se rechaza la hipótesis nula, confirmando que al menos uno de los tratamientos presenta distinción al momento de remover DBO, DQO y Sólidos Suspendidos.

Tabla 8 Comparación de valores obtenidos con los límites permisibles.

Parámetros Límites permisibles Muestra cruda Muestra tratada (15%) Unidades

DBO 100 2296 310 mg/L

DQO 200 3145 680 mg/L

Sólidos Suspendidos 130 429 85 mg/L

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 8 se presenta la comparación entre los datos obtenidos del agua tratada con una dosificación del 15% de bacterias y los límites permisibles establecidos en la Tabla 9 del Anexo 1 del Libro VI del TULSMA. Los resultados evidencian una reducción significativa en los niveles de DBO, DQO y Sólidos Suspendidos. Sin embargo, a pesar de la mejora en los parámetros, se observa que los valores de DBO y DQO continúan superando los límites permisibles según la normativa vigente. Este resultado indica la necesidad de optimizar el proceso, lo cual podría lograrse mediante la prolongación del tiempo de aireación o la implementación de tratamientos complementarios más eficientes, con el fin de alcanzar los estándares requeridos.

#### CAPITULO IV

#### CONCLUSIONES

En el presente trabajo de investigación se logró optimizar el tratamiento de aguas residuales generadas en



[www.dSPACE.espol.edu.ec](http://www.dSPACE.espol.edu.ec/bitstream/123456789/585177/TRATAMIENTO_AGUAS_RESIDUALES.pdf.txt) | Tratamiento de aguas residuales de la industria borcea s.a.

el proceso de producción de harina de pescado de la

empresa UNICORSA mediante la implementación de un sistema sencillo de tratamiento que consta de procesos como el cribado, aireación y adición de bacterias conocido también como bioaumentación, permitiendo reducir de manera significativa los niveles de DBO, DQO y Sólidos Suspendidos.

Los resultados obtenidos demuestran la existencia de una relación directa entre la concentración de bacterias y la eficiencia del tratamiento aplicado. Se evidencia que un incremento en la cantidad de microorganismos favorece una mayor degradación de la materia orgánica presente en el agua residual, optimizando así la reducción de los parámetros contaminantes evaluados

Se evidencia que la concentración de sólidos suspendidos se reduce de manera eficiente, logrando cumplir con los límites establecidos en la normativa ambiental vigente. Sin embargo, a pesar de la mejora en el tratamiento, los valores de DBO y DQO aún superan los límites máximos permisibles. Este resultado indica la necesidad de una optimización adicional del proceso, ya sea mediante la prolongación del tiempo de aireación o la implementación de métodos complementarios que mejoren la eficiencia en la remoción de materia orgánica.

Mediante el análisis estadístico ANOVA realizado, se confirmó que existen diferencias significativas en los tratamientos aplicados para la disminución de contaminantes, asegurando que el método propuesto para el tratamiento del efluente es eficiente.

CAPITULO V  
RECOMENDACIONES

Asegurarse que las bacterias que se van a utilizar sean específicamente para la reducción de contaminantes que se requiera.

Mantener las bacterias en condiciones óptimas por el periodo de tiempo necesario para su activación.

Aumentar el tiempo de oxigenación del agua residual para obtener una mayor eficiencia en la remoción de materia orgánica antes de la adición de bacterias.

ANEXOS

ANEXO A Recolección de muestra de agua residual.

□

□

ANEXO B Esterilizar materiales a usar.

□

□

ANEXO C Activación de bacterias.

□

ANEXO D Bacterias activadas.

□

ANEXO E Agua residual con materia orgánica

□

□

ANEXO F Filtración de agua residual para obtener los sólidos suspendidos.

□

## CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

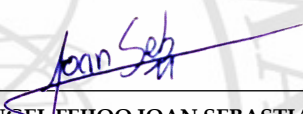
Los que suscriben, ANGEL FEIJOO JOAN SEBASTIAN y JARAMILLO OBACO XIOMARA LISSETH, en calidad de autores del siguiente trabajo escrito titulado OPTIMIZACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA UNICORSA PARA REDUCIR LOS PARÁMETROS DBO, DQO Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS., otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Los autores declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

Los autores como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



---

ANGEL FEIJOO JOAN SEBASTIAN

0750055758



---

JARAMILLO OBACO XIOMARA LISSETH

0750579658



UNIVERSITAS  
MAGISTRORUM  
ET SCHOLARIUM

## DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios por haberme permitido lograr mis objetivos además de su infinita bondad y misericordia.

Para la persona y mujer más importante en mi vida Sonia Obaco, que es mi madre la cual me inculcó buenos valores y me enseñó a ser la mujer que soy, de la mano de Dios y de la mano de esta mujer guerrera he logrado completar y culminar una etapa muy hermosa en mi vida. Gracias por el apoyo emocional, psicológico y personal madre mía. A mi abuelita Nery Bernal, la cual me acogió desde el primer momento y ha sido una persona fundamental en este proceso siempre por motivarme a seguir con mis proyectos de vida y seguirme enseñando a mejorar como calidad de persona día tras día.

A mi padre Marcos Jaramillo, que me enseñó a no depender de nadie si no a valerme por sí misma en cada situación que me enfrente y saber que todo puedo lograrlo si lo intento.

Y a mis hermanos Michael y Jandry que juntos me han dado la mano en este sendero para seguir con mis estudios dándome fuerzas y ánimos

A mi compañero de vida Elías Ordóñez una parte vital en mi ser siempre me ha dado ánimos para no rendirme en este proceso el cual ha conllevado un sinnúmero de contras, pero siempre sabiendo sobrellevarlos.

***Xiomara Lisseth Jaramillo Obaco***

Dedico este logro a mi madre por ser mi pilar inquebrantable y por su amor incondicional. Su apoyo, sacrificio y enseñanzas han sido la base sobre la que construyó cada uno de mis logros. Gracias por ser mi guía y mi mayor inspiración en este camino.

A mi hijo, la luz de mi vida y la mayor motivación para seguir adelante. Cada esfuerzo, cada noche de estudio y cada desafío superado han sido con el propósito de brindarle un futuro mejor. Su sonrisa y amor me han dado la fuerza para nunca rendirme y seguir luchando por mis sueños.

A ambos, con todo mi amor y gratitud, les dedico este trabajo, fruto de años de esfuerzo y perseverancia.

***Joan Sebastián Ángel Feijoo***

## **AGRADECIMIENTO**

Mi Eterno agradecimiento a Dios que me ha brindado su gracia y su misericordia, paciencia, salud, sabiduría, que con amor me ha cuidado en esta hermosa etapa de mi vida y a mi familia en general por ser siempre mi apoyo fundamental y poder culminar mis estudios de la mejor manera, también a las personas que estuvieron siempre cerca a mis amigos, allegados y conocidos los cuales aportaron siempre en mi vida para seguir teniendo un desarrollo profesional excelente y por ser parte de ella, no es el final si no tan solo el comienzo de mi vida profesional.

Y a esta prestigiosa institución por permitirme avanzar hacia el éxito para poder convertirme en una profesional competitiva llena de conocimientos y expectativas también quiero agradecer a todos los docentes por brindarme una formación profesional con calidad.

Gracias a Dios por estar siempre presente en mi vida cuidando de mí y de mis estudios dándome fuerza, fortaleza y sabiduría para seguir en esta constante evolución profesional.

***Xiomara Lisseth Jaramillo Obaco***

A lo largo de este camino académico, él contado con el apoyo incondicional de muchas personas a quienes deseo expresar mi más sincero agradecimiento.

A mis docentes, por compartir su conocimiento y guiarme en mi formación profesional. A mis padres, por su amor, sacrificio y enseñanzas, que han sido la base de mi esfuerzo. A mi hermano, por su compañía y aliento en todo momento. A mis compañeros de aula, por su amistad y colaboración a lo largo de esta etapa. A mis tías, por su apoyo incondicional y sus valiosos consejos.

A mi mujer, por su paciencia, comprensión y motivación constante, y a mi hijo, quien es mi mayor inspiración y la razón por la que sigo adelante cada día.

A todos ustedes, gracias por ser parte de este logro.

***Joan Sebastián Ángel Feijoo***



## RESUMEN

Generalmente las industrias pesqueras producen aguas residuales con altas concentraciones de materia orgánica, lo que representa un desafío ambiental significativo. En particular, las plantas procesadoras de harina de pescado requieren sistemas de tratamiento eficientes que permitan la remoción de estos contaminantes, garantizando el cumplimiento de las normativas ambientales vigentes.

En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo optimizar el tratamiento de aguas residuales implementado en la empresa UNICORSA, a través de un proceso a escala de laboratorio diseñado para reducir los niveles de Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno y Sólidos Suspendedos. Estos parámetros, previamente analizados, excedían los límites permisibles para la descarga en cuerpos de agua dulce, evidenciando la necesidad de mejorar la eficiencia del sistema de tratamiento.

Este estudio se desarrolló bajo un diseño experimental, basado en tres etapas de tratamiento: cribado, aireación y bioaumentación mediante la adición de bacterias especializadas en la degradación de materia orgánica, en concentraciones del 5%, 10% y 15%. Para evaluar la eficiencia del proceso implementado, se realizó análisis del agua antes y después del tratamiento. Los resultados evidenciaron que, a medida que aumentaba la concentración de bacterias, se lograba una mayor reducción en los niveles de Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno y Sólidos Suspendedos, confirmando la efectividad del método aplicado.

Los resultados que se obtuvieron demostraron que los tres tratamientos lograron disminuir significativamente los parámetros, siendo el tratamiento con un 15% de bacterias el que consiguió una mayor efectividad logrando disminuir en un 86.49% la DBO, un 78.37% la DQO y un 80.18% los Sólidos Suspendedos. A pesar de haber logrado una reducción significativa de los parámetros de DBO y DQO, los valores obtenidos aún excedían los límites según la normativa ambiental vigente, por lo que se sugiere optimizar aún más el proceso ya sea estableciendo un mayor tiempo de aireación o complementándolo con métodos más eficientes.

**Palabras clave:** Tratamiento de aguas residuales, optimización, DBO, DQO, sólidos suspendidos, aireación, bacterias.

## ABSTRACT

Fishing industries generate wastewater with high concentrations of organic matter, which represents a significant environmental challenge. In particular, fishmeal processing plants require efficient treatment systems to remove these contaminants, ensuring compliance with current environmental regulations.

In this context, the present research aims to optimize the wastewater treatment implemented in the company UNICORSA, through a laboratory-scale process designed to reduce the levels of Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD) and Suspended Solids (SS). These parameters, previously analyzed, exceeded the permissible limits for discharge into freshwater bodies, evidencing the need to improve the efficiency of the treatment system.

This study was developed under an experimental design, based on three treatment stages: screening, aeration and bioaugmentation through the addition of bacteria specialized in the degradation of organic matter, at concentrations of 5%, 10% and 15%. To evaluate the efficiency of the implemented process, water analysis was carried out before and after treatment. The results showed that, as the concentration of bacteria increased, a greater reduction in the levels of Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD) and Suspended Solids (TSS) was achieved, confirming the effectiveness of the applied method.

The results obtained showed that the three treatments achieved a significant reduction in the parameters, with the treatment with 15% bacteria being the most effective, achieving a reduction of 86.49% in BOD, 78.37% in COD and 80.18% in suspended solids. In spite of having achieved a significant reduction in the BOD and COD parameters, the values obtained still exceeded the limits according to current environmental regulations, so it is suggested to further optimize the process either by establishing a longer aeration time or by complementing it with more efficient.

**Keywords:** wastewater treatment, optimization, BOD, COD, suspended solids, aeration, bacteria.

## INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas que enfrentan estas industrias es el incremento de residuos, agravando significativamente el daño al medio ambiente, estos residuos se generan como resultado de varios procesos de transformación de la materia prima, contribuyendo de manera importante a la contaminación del agua. La acumulación y liberación de estos desechos por medio de efluentes sin un manejo adecuado puede tener efectos perjudiciales sobre los ecosistemas acuáticos y la calidad del agua intensificando la degradación ambiental.<sup>1</sup>

La creciente preocupación por la calidad del agua y la aparición de nuevos contaminantes han llevado a una estricta revisión y fortalecimiento de las normativas reguladoras, en respuesta, los países desarrollados han implementado evaluaciones exhaustivas y mejoras significativas en los sistemas tradicionales de tratamiento y distribución de agua para garantizar su efectividad en la protección de la salud pública y el medio ambiente.<sup>2</sup>

Actualmente, enfrentamos una crisis sin precedentes en términos de contaminación del aire, suelo y agua. El concepto de agua residual se refiere a la combinación de líquidos residuales que transportan contaminantes originados en hogares, instituciones públicas, industrias y establecimientos comerciales. Estas aguas residuales resultan de diversas actividades y procesos, y su gestión adecuada es crucial para mitigar los impactos ambientales y proteger la salud pública.<sup>3</sup>

Un tratamiento adecuado de estas aguas es imprescindible no solo para cumplir con las regulaciones ambientales, sino también para minimizar el impacto negativo en los ecosistemas acuáticos circundantes, las altas concentraciones de DBO, DQO y sólidos suspendidos pueden provocar la mayormente la contaminación en aguas receptoras, afectando gravemente a la fauna y flora acuática y causando fenómenos como la eutrofización.

Entre los posibles tratamientos se incluyen procesos físicos, químicos y biológicos pueden optimizar la reducción. Además, la implementación de tecnologías avanzadas, la inversión en el tratamiento de aguas residuales también puede tener beneficios económicos a largo plazo, al prevenir sanciones regulatorias y mejorar la reputación de la empresa. Asimismo, el aprovechamiento de subproductos derivados del tratamiento,

como el biogás, puede contribuir a la eficiencia energética y a la economía circular dentro de la empresa.

La empresa UNIVERSAL DE COMERCIO S.A. (UNICORSA), que comenzó sus operaciones hace aproximadamente año y medio, especializada en la producción de harina de pescado para la alimentación animal, enfrenta un desafío significativo en su sistema de tratamiento de aguas residuales. Los análisis recientes del efluente han revelado que varios parámetros exceden los límites establecidos en el ANEXO 1 del LIBRO VI del TULSMA, conforme al ACUERDO MINISTERIAL 097A, TABLA 9, que regula los límites de descarga en cuerpos de agua dulce.

A pesar de los beneficios nutricionales de la harina de pescado en contraste con otras harinas de origen animal y vegetal, como su alto contenido en proteínas, aminoácidos esenciales, ácidos grasos poliinsaturados y una mejor digestibilidad, la industria procesadora de harina de pescado presenta impactos ambientales adversos significativos.<sup>4</sup>

Debido a esta situación, la presente investigación surge como una propuesta de optimización del tratamiento que se les da a estas aguas residuales generadas por el establecimiento, enfocándonos en la reducción de los parámetros de DBO, DQO y sólidos suspendidos con el fin de mitigar el impacto ambiental que genera el efluente al medio ambiente.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Optimizar el tratamiento de las aguas residuales generadas en el proceso de producción de harina de pescado de la empresa UNICORSA, reduciendo los parámetros DBO, DQO y sólidos suspendidos mediante experimentación en laboratorio, para mejorar la calidad del efluente.

### **Objetivos Específicos**

- Determinar los niveles iniciales de DBO, DQO y sólidos suspendidos presentes en el efluente.
- Realizar experimentos controlados a escala laboratorio para evaluar la eficacia de métodos sencillos de tratamiento de aguas residuales, con el objetivo de optimizar la reducción de los parámetros contaminantes DBO, DQO y sólidos suspendidos.
- Evaluar la calidad del agua residual después de aplicar los tratamientos, comparando los resultados obtenidos con los límites permisibles que establece la normativa vigente para evaluar la efectividad de los métodos de tratamiento aplicados.

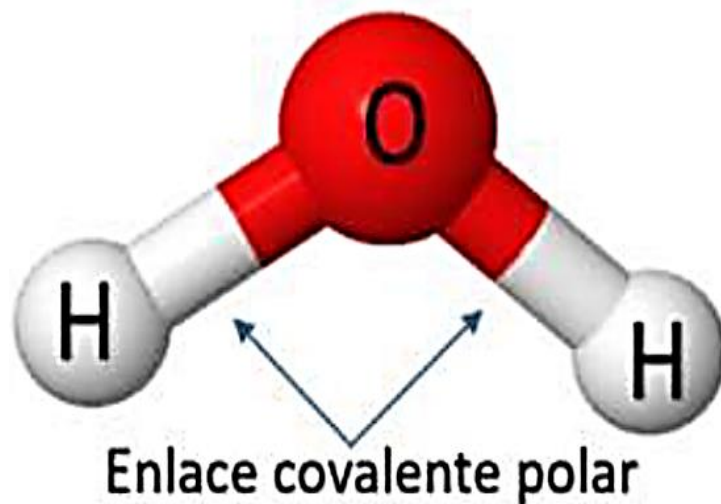
## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO

#### 1.1 Agua

Desde el punto de vista químico, el agua es un compuesto formado por la interacción de átomos de hidrógeno y oxígeno mediante enlaces covalentes. Estas fuerzas intramoleculares confieren al agua propiedades distintivas y únicas que la hacen esencial para numerosos procesos biológicos y físicos.<sup>5</sup> En la figura 1, se puede apreciar la estructura molecular del agua. A pesar de la simplicidad de su estructura molecular, el agua no se encuentra en estado gaseoso de forma predominante, sino que puede presentarse en sus tres estados físicos en la naturaleza, se manifiesta en estado sólido en glaciares, estado líquido en mares y ríos, y en estado gaseoso en las nubes.<sup>6</sup>

**Figura 1** Estructura molecular del agua.



**Fuente:**<sup>6</sup>

El agua es el recurso más abundante en el planeta, ya que aproximadamente tres cuartas partes de la superficie terrestre están cubiertas por este elemento, además es un constituyente fundamental en la vida humana, siendo un componente esencial del organismo, constituyendo los dos tercios de la masa corporal de una persona adulta.<sup>6</sup> Los ecosistemas acuáticos, específicamente los de agua dulce proporcionan a la

sociedad varios recursos y servicios como el control de inundaciones, sistemas de recolección, atracción turística y paisajística, además de ser hábitat de un sin número de especies animales y vegetales.<sup>7</sup> En la figura 2, se observa el recurso hídrico como atracción paisajística.

**Figura 2** Recursos hídricos.



**Fuente:**<sup>8</sup>

El agua es un recurso indispensable para la vida y desarrollo medio ambiental, sin embargo, una fracción limitada de recursos hídricos disponibles en la Tierra corresponde a agua dulce accesible para uso humano.<sup>9</sup> La mayor parte de la superficie terrestre está cubierta por agua, con una predominancia en los océanos de forma líquida, también, una significativa proporción se encuentra en forma congelada en glaciares y capas de hielo, siendo solo un pequeño porcentaje de ella agua dulce, distribuida en lagos, ríos, lagunas y otros cuerpos acuáticos.<sup>10</sup>

*1.1.1 Propiedades.* El agua posee propiedades únicas que la convierten en un recurso esencial para la vida. Su capacidad para disolver una amplia gama de sustancias la clasifica como el "solvente universal". Además, el agua desempeña un papel crucial en diversos procesos metabólicos. Notablemente, tiene la característica inusual de expandirse al congelarse, lo que influye en su comportamiento y en los ecosistemas que depende de ella.<sup>11</sup>

*1.1.2 Calidad del agua.* La calidad del agua es un factor determinante para la salud de las personas, por lo que su control resulta fundamental, el garantizar agua de calidad no solo beneficia su consumo, sino que también facilita la selección del tratamiento más adecuado para reducir la contaminación y brindar una distribución segura.<sup>7</sup> Al ser uno de los recursos más importantes para el desarrollo de la vida en el planeta, es imprescindible que el agua sea consumida en las mejores condiciones para impedir daños al organismo de los seres vivos, a pesar de ello, en muchos lugares no se cuenta con la calidad óptima para consumo debido a factores como la falta de inversión estatal y a la escasa cultura por parte de la población.<sup>12</sup>

El tratamiento y la potabilización del agua son aspectos fundamentales para garantizar su calidad y preservar la salud humana, así como la de otras especies. En muchas regiones, este recurso es escaso o de difícil acceso, y los costos asociados a su potabilización pueden ser considerablemente elevados. Además, la creciente contaminación del agua representa un desafío ambiental crítico, lo que resalta la necesidad urgente de fortalecer la educación ambiental y promover prácticas sostenibles para su conservación y uso responsable.<sup>13</sup>

*1.1.3 Contaminación del agua.* Se entiende como la acción de inducir o modificar las condiciones naturales del agua de manera directa o indirecta provocando una alteración en su composición que perjudica a la calidad de este recurso.<sup>14</sup> El recurso hídrico contribuye de gran manera al crecimiento y desarrollo de un país, sin embargo, mediante las actividades antrópicas se ha vuelto vulnerable ante contaminantes procedentes de industrias, zonas urbanas, agricultura y minería.<sup>15</sup>

Las principales fuentes de contaminación suelen ser de origen bacteriano, puesto que la gran mayoría de enfermedades que presentan los humanos son provocadas por agentes infecciosos originarias de aguas sucias no aptas para el consumo que genera una contaminación fecal.<sup>16</sup> En la Figura 3, se pueden observar las clases de agentes contaminantes que existen en el agua.



**Figura 3** Agentes contaminantes del agua.

<b>Primera Clase</b>	Virus, protozoos, gusanos parásitos.
<b>Segunda Clase</b>	Bacterias
<b>Tercera Clase</b>	Ácidos, sales, metales tóxicos.
<b>Cuarta Clase</b>	Sedimentos suspendidos
<b>Quinta Clase</b>	Compuestos radioactivos

**Fuente:**<sup>14</sup>

### 1.2 Aguas Residuales.

Las aguas residuales son una de las principales fuentes de contaminación para los cuerpos de agua ya que mediante su descarga se introduce una variedad de contaminantes que ocasionan afecciones directa e indirectamente tanto al recurso suelo como a la vida acuática.<sup>17</sup> En la figura 4, se logra visualizar las aguas residuales y efectos contaminantes.

**Figura 4** Descarga de aguas residuales.



**Fuente:**<sup>18</sup>

Son aguas contaminadas generadas por el hombre cuando provocan una alteración de sus condiciones naturales directa o indirectamente, lo cual perjudica su calidad. Se constituye por una variedad de materias orgánicas e inorgánicas y con sólidos suspendidos o disueltos. Pueden resultar de actividades domésticas o industriales.<sup>19</sup>

Son también conocidas como “Aguas Negras”, esto debido a la tonalidad oscura con la que se manifiestan como consecuencia de actividades antropogénicas, siendo un gran riesgo ante el bienestar de las personas y el medio ambiente ya que están compuestas por sustancias peligrosas o microorganismos indeseables.<sup>20</sup> Dependiendo del origen de procedencia de estas aguas, suelen dividirse en cuatro tipos: aguas residuales domésticas, industriales, de agricultura y las provenientes de lluvias ácidas.<sup>21</sup>

1.2.1 *Clasificación de las aguas residuales.* Dependiendo de su origen, las aguas residuales se pueden llegar a clasificar en:

1.2.1.1 Aguas residuales industriales. El término de aguas residuales industriales se da como una referencia a las aguas que presentan una contaminación algo compleja, afectando de esta manera negativamente al entorno y generando problemas tóxicos y malos olores en el ecosistema natural.<sup>22</sup>

1.2.1.2 Aguas residuales domésticas: Las aguas servidas, como se las denomina también a las aguas residuales de origen doméstico, son resultado de las actividades rutinarias de las personas, tanto por alteraciones fisicoquímicas como biológicas, estas aguas no son aptas para el consumo humano y su medio de descarga hacia el entorno es el alcantarillado o por su disposición directa.<sup>23</sup>

1.2.1.3 Aguas residuales urbanas: Se definen como el conjunto de residuos líquidos originados a partir de actividades domésticas e industriales, estas aguas presentan una gran gama de contaminantes transportados por la red de alcantarillado, que suele desembocar en fuentes de agua al aire libre.<sup>24</sup>

El tratamiento más eficiente realizado para este tipo de aguas, es implementar métodos basados en procesos biológicos debido a que las aguas urbanas presentan gran cantidad de materia orgánica.<sup>25</sup> La composición de estas varía dependiendo de factores como el sitio donde se encuentran, la temperatura, el origen del agua, entre otros.<sup>17</sup>

1.2.2 *Características de las aguas residuales.* Las aguas residuales contienen una mezcla compleja de contaminantes, estos contaminantes proporcionan características que incluyen sólidos suspendidos, materia orgánica, metales pesados, microorganismos patógenos, compuestos químicos tóxicos, entre otros. Cada componente influye

significativamente en la calidad del agua y el medio ambiente. En la tabla 1, se observan las características que presentan las aguas residuales.

**Tabla 1** Características propias de las aguas residuales.

CARACTERÍSTICAS	FACTOR
FÍSICAS	Olor
	Color
	Temperatura
	Sólidos suspendidos
	Sólidos totales
	Turbidez
QUÍMICAS	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)
	Demanda Química de Oxígeno (DQO)
	Grasas y aceites
	Materia orgánica
	Metales pesados
	pH
BIOLÓGICAS	Bacterias
	Coliformes fecales
	Oxígeno disuelto (OD)
	Microorganismos patógenos

**Fuente:** Elaboración propia.

1.2.3 *Parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua residual.* Son indicadores que permiten conocer las propiedades del agua para diferentes fines, entre los parámetros que se tomarán en cuenta están:

1.2.3.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): La Demanda Bioquímica de Oxígeno, conocida por sus sigas DBO, es un factor mediante el cual se indica la cantidad de oxígeno que logra ser consumido por microorganismos aerobios durante el proceso de oxidación de sustratos orgánicos que se encuentren presentes en un medio acuoso.<sup>26</sup>

1.2.3.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO): Factor que indica la cantidad de oxígeno que se consume al producirse la oxidación de la materia orgánica presente en una muestra de agua con intervención de compuestos químicos.<sup>27</sup>

1.2.3.3 *Sólidos suspendidos*: El agua contiene sólidos que pueden impactar en su calidad. En el caso de las aguas residuales, los sólidos representan una preocupación importante, ya que afectan directamente la gestión y el tratamiento de los lodos generados.<sup>28</sup> Entre los diferentes tipos de sólidos presentes, los sólidos suspendidos son particularmente relevantes, ya que permanecen en suspensión en el agua y pueden complicar el proceso de tratamiento.

1.2.4 *Importancia del tratamiento de aguas residuales*. Conforme el ámbito industrial crece con el paso de los años, se genera cada vez más contaminación en el recurso agua, que, junto con un mal o nulo tratamiento, ocasiona efectos negativos en su calidad, por eso el tratamiento inadecuado de este conlleva a un gran problema, por la mala higiene y saneamiento de estas aguas, se pueden generar afecciones por parásitos que ingresan a nuestro cuerpo por contacto con los efluentes.<sup>20</sup>

1.2.5 *Impacto de las aguas residuales sin tratar*. Las industrias, al manejarse en el sector productivo, generalmente suelen presentar varios factores que afectan su sostenibilidad, entre ellos están el excesivo uso de los recursos naturales y los efectos negativos que suelen ocasionar las descargas de residuos al ambiente.<sup>25</sup> Las aguas residuales o aguas de cola que se generan en procesos de producción de la harina de pescado conllevan a un problema grave dentro de la industria pesquera, esto debido a que las aguas presentan concentraciones, en muchas ocasiones, demasiado elevadas de parámetros como los DBO, DQO y sólidos suspendidos, es por ello que la búsqueda de métodos que sean eficientes y económicos para la disminución de este parámetro son de gran importancia para las cadenas de producción.

La industria procesadora de harina de pescado genera aguas residuales con alta concentración de materia orgánica, por lo que la descarga de estos efluentes sin tratamiento es un problema ambiental muy grave, ya que dependiendo del tipo de pescado y del procesamiento implementado para producirla se puede generar de un 20 a 80 % de desechos.<sup>29</sup>

La problemática encontrada dentro de la producción de harina de pescado es la contaminación del medio ambiente, específicamente en cuerpos marinos que gracias a la mala disposición y descarga de efluentes que contienen desechos procedentes de las aguas de bombeo y aguas de cola que se generan dentro de las industrias, no solo los cuerpos de agua son afectados, sino también los alrededores de establecimiento, esto

a causa de la sedimentación de residuos orgánicos como escamas, espinas y sangre que se vuelven materia orgánica con olores sulfurosos y de colores oscuros, que alteran la composición de las propiedades físicas, químicas y biológicas del medio.<sup>30</sup>

1.2.6 *Tratamiento de aguas residuales.* Se define como el proceso mediante el cual se remueven elementos o sustancias que contaminan el recurso hídrico, con el objetivo de impedir que el agua presente aspectos negativos en su calidad, generalmente a las aguas residuales se les provee de un tratamiento secundario con el que se logra la reducción o eliminación de la carga orgánica presente en la misma, uno de estos tratamientos secundarios más usados es el tratamiento biológico.<sup>21</sup> En la figura 5, se observa los procesos básicos del tratamiento de aguas residuales.

**Figura 5** Piscinas de tratamiento de aguas.



**Fuente:**<sup>31</sup>

Estos procesos han avanzado con forme a investigaciones e innovaciones a nivel mundial, encontramos procesos físicos adecuados dependiendo de las propiedades que presenten las partículas de agua y así se pueden aplicar métodos de separación como uno de los conocidos de la sedimentación; también existen procesos de carácter químico que forman partículas con diferencia de densidades haciendo uso de productos como coagulantes y floculantes para lograr una separación eficiente; En América Latina es común la separación o remoción de residuos por medio de tratamientos biológicos, usando microorganismos que consumen la materia orgánica.<sup>32</sup>

1.2.6.1 Pretratamiento: Es uno de los principales sistemas a tomar en cuenta para el tratamiento de aguas residuales, su función es adecuar el afluente para facilitar la ejecución de las etapas siguientes del proceso.<sup>33</sup> El pre tratamiento se basa en remover

sólidos flotantes de mayor tamaño que pueden perjudicar la continuidad del proceso mediante medios físicos como trampas, rejas manuales o mecánicas, plásticos, etc.<sup>34</sup>

1.2.6.2 Tratamiento Primario: Suelen usarse métodos físicos para separar los sólidos capaces de sedimentarse formando lodos que se pueden remover para su posterior tratamiento.<sup>17</sup> Si bien se usan métodos físicos para remover grasas y arenas, también se realizan procesos químicos los cuales ayudan a corregir el pH de las aguas a tratar.<sup>25</sup>

1.2.6.3 Tratamiento Secundario: Por lo general, este tratamiento se basa en procesos biológicos como a adición de microorganismos aerobios o anaerobios que degradan la materia orgánica presente en el agua residual, entre estos podemos mencionar los lodos activados, reactores anaerobios, entre otros.<sup>17</sup>

1.2.6.4 Tratamiento Terciario: La implementación de este tipo de tratamiento se basa en la desinfección del agua residual para asegurar que es segura su descarga al medio ambiente. Son empleados métodos adicionales tanto físicos como químicos capaces de eliminar los contaminantes que aún pueden presentar las aguas residuales.

1.2.7 *Métodos para el tratamiento de aguas residuales.* Para los efluentes de industrias pesqueras, existen metodologías para su tratamiento, pero es importante hacer un pretratamiento primario porque para implementarlos se reduce e incluso elimina materia orgánica como grasas, proteínas y residuos sólidos, lo que puede ocasionar que los tratamientos posteriores no tengan eficiencia como la implementación de agentes biológicos.<sup>1</sup>

1.2.7.1 Métodos físicos: Se basan en técnicas físicas para lograr eliminar contaminantes sin modificar la composición química del agua. Estos métodos se clasifican en filtración y adsorción, cada uno con desventajas notables. En el caso de la filtración, la duración del proceso está restringida por la vida útil de los medios filtrantes, lo que puede limitar la eficiencia operativa. Por otro lado, la adsorción requiere una gran superficie de instalación, lo que implica una inversión significativamente mayor.<sup>35</sup>

1.2.7.2 Métodos químicos: Estos métodos implican la adición de sustancias inorgánicas al agua, que facilitan significativamente los procesos de floculación y precipitación de iones metálicos, se utilizan comúnmente sales de hierro o aluminio para promover estos procesos.<sup>35</sup> Son especialmente valorados en países en desarrollo debido a su bajo costo

y accesibilidad, lo que permite una implementación económica y efectiva en el tratamiento de aguas.

1.2.7.3 Métodos biológicos. Son tratamientos secundarios, se realizan para transformar toda la materia orgánica disuelta en el agua residual en sedimentos para su posterior separación. Estos métodos son indispensables los microorganismos adecuados ya que estos degradan la materia orgánica soluble y reducen así la concentración de DBO y DQO.<sup>3</sup>

1.2.8 *Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales.* En la actualidad, se usan distintas técnicas que se enfocan en aspectos como la ecoeficiencia, las buenas prácticas y el análisis del ciclo de vida, orientados en el área de tratamiento de aguas residuales, para lo que pretende mejorar los procesos y asegurar la disposición adecuada de los residuos de estas aguas.<sup>36</sup>

1.2.8.1 Lodos activados: En cuanto a tratamiento de aguas por lodos activados, nos referimos a una tecnología o proceso secundario implementado normalmente por industrias, que se realiza mediante el uso de microorganismos que, al permanecer en las aguas residuales, descompondrán la materia de orgánica en complejos más sencillos, este tratamiento se da en tanques sedimentarios en los cuales se realiza una separación del agua tratada y de productos de la degradación, llamados también lodos residuales.<sup>37</sup>

Los lodos residuales son los subproductos que se generan tras el tratamiento de aguas residuales, esta denominación se les atribuye a los sólidos en suspensión en el interior de un líquido, como lo es el caso de las aguas residuales, estos lodos son contaminantes capaces de inducir el deterioro de los ecosistemas y del ambiente si no se tratan correctamente.<sup>38</sup>

1.2.8.2 Digestión anaerobia: Proceso microbiológico que se genera en una fase líquida convirtiendo la materia orgánica, por degradación, en un gas capaz de usarse como combustible (biogás), y microorganismos como lodos.<sup>39</sup>

1.2.8.3 Bioaumentación: Considerada como una de las tecnologías más comunes para el tratamiento de aguas residuales ya que utiliza cepas bacterianas que son especializadas para este tipo de procesos bajo condiciones óptimas, la elección de estas cepas depende específicamente de los contaminantes que se desean tratar.<sup>40</sup>

1.2.8.4 Biofiltros: La implementación de biofiltros, denominada también como proceso de biofiltración, busca retener sustancias contaminantes haciendo uso de medios orgánicos que funcionan como resinas a través de mecanismos de adsorción y absorción, fomentando de esta manera el desarrollo de microorganismos capaces de degradar los contaminantes presentes en las aguas residuales.<sup>36</sup>

1.2.8.5 Membranas: La implementación de membranas es una de las técnicas con gran eficiencia si se busca un tratamiento de calidad, las membranas son selectivas y por ende permite una eficaz recuperación de nutrientes; se encuentran compuestas de materiales tanto orgánicos como inorgánicos.<sup>9</sup>

1.2.8.6 Flotación por aire disuelto. Técnica que se basa en la inyección de aire disuelto en el agua a tratar provocando la flotación de los contaminantes hacia la superficie para facilitar su remoción, de esta manera el tiempo de sedimentación de los sólidos suspendidos es reducido.<sup>25</sup> Este método consiste en un tanque de flotación donde se dividen dos sectores, uno de ellos es la zona de contacto donde las partículas de aire colisionan y el otro es la zona de separación que es la aglomeración de partículas que flotan a la superficie creando una capa de lodo o espuma.<sup>41</sup>

### **1.3 Normativa ambiental vigente**

Para poder cumplir con el objetivo propuesto de mejorar la calidad del agua residual que se genera en los procesos de producción de harina de pescado, se toma en cuenta la normativa ambiental vigente, considerando el anexo 1 encontrado en el libro VI del TULSMA, concretamente en la norma basada en la calidad ambiental y la descarga de efluentes hacia el recurso agua.

1.3.1 *Norma general para descarga de efluentes hacia cuerpos de agua dulce.* La norma busca mantener la calidad del agua mediante límites estandarizados enfocados en la descarga de efluentes, priorizando que estos no contaminen de manera significativa a los cuerpos de agua dulce. En este contexto, se utilizan los valores expresados en la tabla 9 del anexo 1 del libro VI del TULSMA, en la Tabla 2, encontramos los límites permisibles para descarga a un cuerpo de agua dulce.



**Tabla 2** Límites máximos para la descarga a un cuerpo de agua dulce.

PARÁMETROS	EXPRESADO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO
ACEITES Y GRASAS.	Sust. solubles en hexano	mg/l	30
ALKIL MERCURIO		mg/l	No detectable
ALUMINIO	Ai	mg/l	5.0
ARSÉNICO TOTAL	As	mg/l	0.1
BARIO	Ba	mg/l	2.0
BORO TOTAL	B	mg/l	2.0
CADMINO	Cd	mg/l	0.02
CIANURO TOTAL	CN	mg/l	0.1
CINC	Zn	mg/l	5.0
COLORO ACTIVO	Cl	mg/l	0.5
COLOROFORMO	Ext. carbón cloroformo ECC	mg/l	0.1
CLORUROS	Cl	mg/l	1000
COBRE	Cu	mg/l	1
COBALTO	Co	mg/l	0.5
COLIFORMES FECALES	NMP	NMP/100 ml	2000
COLOR REAL	Color real	unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
COMPUESTOS FENÓLICOS	Fenol	mg/l	0.2
ESTAÑO	Sn	mg/l	5.0
FÓSFORO TOTAL	P	mg/l	10
HIERRO TOTAL	Fe	mg/l	10
HIDROCARBUROS TOTALES DE PETRÓLEO	TPH	mg/l	20.0
MANGANESO TOTAL	Mn	mg/l	2.0
MATERIA FLOTANTE	Visibles		Ausencia

**Fuente:**<sup>42</sup>

**Tabla 3** Continuación.

PARÁMETROS	EXPRESADO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO
MERCURIO TOTAL	Hg	mg/l	0.005
NÍQUEL	Ni	mg/l	2.0
NITRÓGENO AMONÍACAL	N	mg/l	30.0
NITRÓGENO TOTAL KJE DAHL	N		50.0
COMPUESTOS ORGANOCOLORADOS	Organoclorados totales	mg/l	0.05
COMPUESTOS ORGANOFOSFORADOS	Organofosforados totales	mg/l	0.1
PLATA	Ag	mg/l	0.1
PLOMO	Pb	mg/l	0.2
POTENCIAL DE HIDRÓGENO	pH		6-9
SELENIO	Se	mg/l	0.1
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	SST	mg/l	130
TOTALES			
SÓLIDOS TOTALES	ST	mg/l	1600
SULFATOS	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	1000
SULFUROS	S <sup>+2</sup>	mg/l	0.5
TEMPERATURA	°C		Condición natural + 3
TENSOACTIVOS	Sustancias Activas al azul de metileno		0.5
TETRACLORURO DE CARBONO	Tetracloruro de carbono	mg/l	1.0

Fuente:<sup>42</sup>

## **CAPÍTULO II**

### **2. METODOLOGÍA**

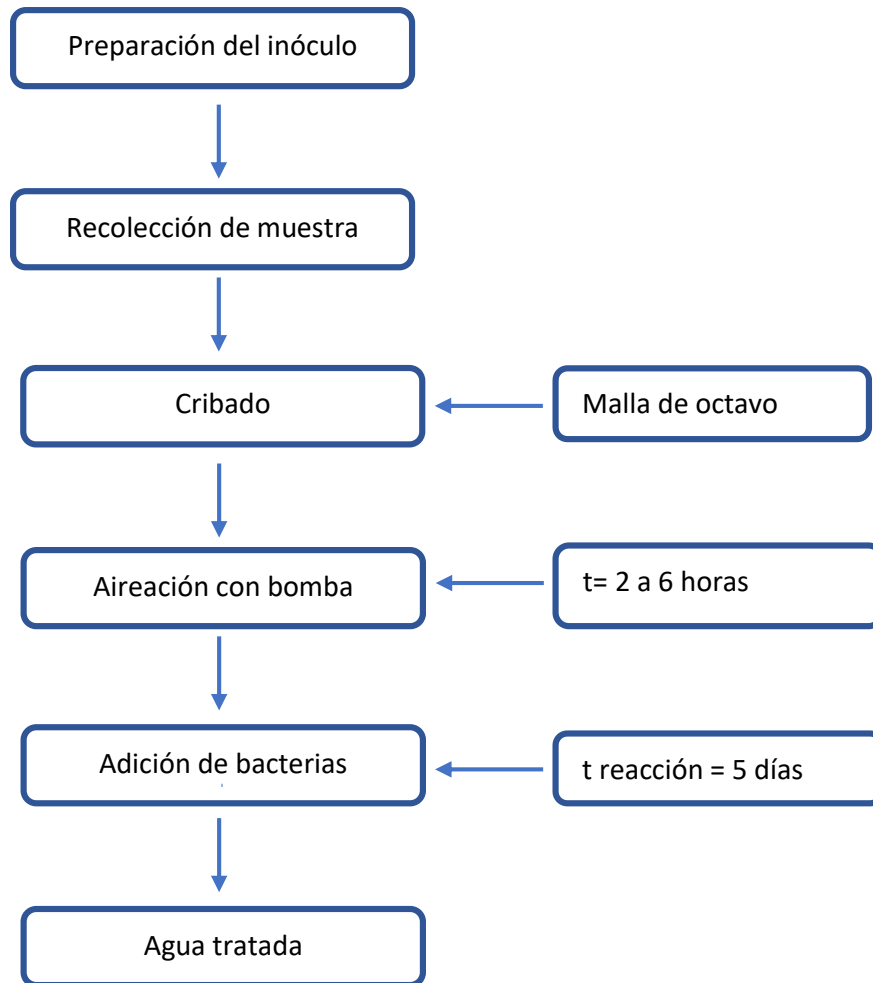
Partiendo de un diagnóstico inicial, se realizaron análisis generales del agua residual generada en el proceso de fabricación de harina de pescado por parte de la empresa. Los resultados obtenidos mostraron que algunos de los parámetros superaban los límites permisibles, entre ellos DBO, DQO y Sólidos Suspendidos, al no cumplir con la normativa ambiental vigente se evidenció que la empresa tiene la necesidad de optimizar el sistema de tratamiento de aguas residuales.

La optimización consiste en la implementación de un proceso de tratamiento de aguas residuales a escala laboratorio, demostrando la eficacia que puede proporcionar un sistema sencillo para reducir los niveles de DBO, DQO y Sólidos Suspendidos, este tratamiento se basa principalmente en la aplicación de un sistema de aireación que promueva a la oxigenación del agua y favorezca la actividad microbiana, como un tratamiento posterior se adicionan bacterias específicas que son capaces de degradar de manera eficaz la materia orgánica presente en el efluente.

Con los valores obtenidos tras la experimentación, se busca evaluar la viabilidad del método con el fin de que en un futuro la empresa pueda considerar su implementación dentro de sus instalaciones. En la figura 6 se muestra un diagrama que indica el proceso general que se llevó a cabo para la optimización del tratamiento de aguas residuales generadas en el proceso de fabricación de harina de pescado de la empresa UNICORSA.

En la Figura 6, se encuentra desarrollado el proceso general que se llevó a cabo para la implementación del sistema de optimización de tratamiento de aguas residuales generadas en el proceso de fabricación de harina de pescado.

**Figura 6** Diagrama general del proceso de optimización.



**Fuente:** Elaboración propia.

## 2.1 Sujeto/s o unidad/es de análisis

**2.1.1 Ubicación de la investigación.** El presente trabajo de desarrollo de titulación se realizó en la Universidad Técnica de Machala en el Laboratorio de Investigaciones de Biomateriales, perteneciente a la Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud. Para la lectura de los análisis se realizó ANAVANLAB.

**2.2.2 Recolección de la Muestra.** Las muestras de agua fueron recolectadas en un punto de muestreo previamente designado dentro de las instalaciones de la empresa UNICORSA situada en el cantón Arenillas, geográficamente ubicada en las siguientes coordenadas  $3^{\circ}30'44''S/80^{\circ}11'22''W$ , tiene un área de 27.013,02 m<sup>2</sup> dentro de sus principales actividades esta la elaboración de harina de pescado para alimentación animal. En la figura 7, se encuentra la ubicación geográfica de dicha empresa.

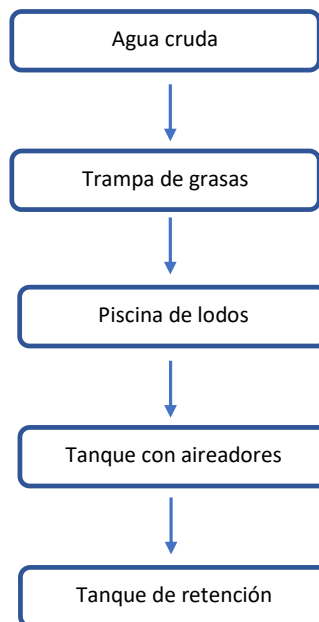
**Figura 7** Ubicación de la Empresa Unicorsa.



**Fuente:** Elaboración Propia.

**2.2.5 Funcionamiento del sistema actual para tratar las aguas residuales.** El proceso de tratamiento de aguas residuales actualmente implementado por la empresa consta de cuatro etapas fundamentales, cada una con una función específica orientada a la adecuación del efluente antes de su disposición final, ya sea para su reutilización en procesos internos o para su descarga conforme a la normativa ambiental vigente. En la Figura 8 se presenta un esquema de la distribución de este sistema, utilizado para el tratamiento del agua residual generada durante la producción de harina de pescado.

**Figura 8** Diagrama del sistema de tratamiento de aguas residuales implementado en la empresa UNICORSA.



**Fuente:** Elaboración propia.

2.2.5.1 *Trampa de grasas*. El agua residual que contiene los desechos de la materia prima al momento de la fabricación de harina de pescado se dirige principalmente a una trampa de grasa cuya función radica en la remoción de grasas y residuos orgánicos provenientes de la planta procesadora.

2.2.5.2 *Piscina de lodos*. El agua libre de grasas y aceites es dispuesta a un estanque de poca profundidad a cielo abierto donde algunos sólidos en suspensión se sedimentan quedando al fondo del estanque.

2.2.5.3 *Tanque con aireadores*. El agua que ingresa a este estanque es removida por dos equipos mecánicos instalados en el interior del estanque que giran para airear y mezclar el agua residual facilitando la degradación de la materia orgánica aún presente.

2.2.5.4 *Tanque de retención*. El agua que pasa por todos los procesos anteriores es dispuesta en un estanque profundo donde se retiene de manera temporal hasta la posible reutilización o descarga.

## 2.2 Materiales y Métodos

2.2.1 *Materiales, Reactivos y Equipos*. Los materiales, equipos y reactivos utilizados en el desarrollo de la fase experimental de este trabajo de titulación se detallara a continuación en la tabla 3.

**Tabla 4** Materiales y equipos.

Reactivos	Materiales	Equipos
Melaza	Batas de laboratorio	Balanza analítica
Mezcla de bacilos de múltiples C BIO-ALIBACILS-ML-01	Mascarillas	(OHAUS PX223)
	Cubeta plástica	Bomba de aire
	2 frascos ámbar de 1L	
	1 frasco de reacción de 2000 ml	
	Papel Filtro	
	Guantes	

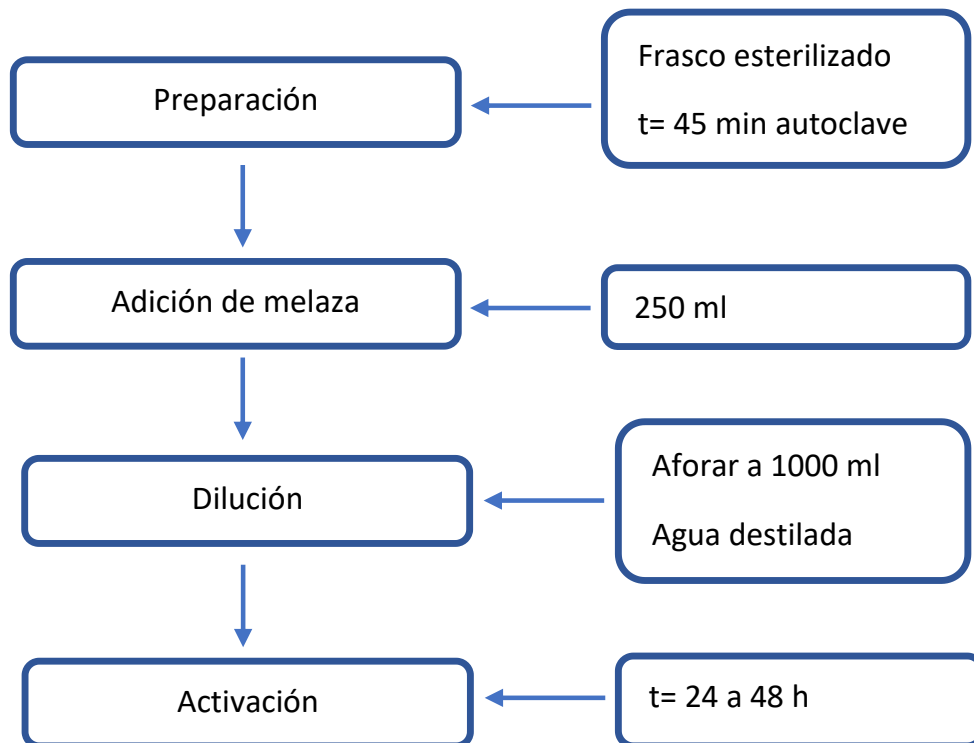
**Fuente:** Elaboración propia

2.2.2 *Diseño experimental.* El sistema implementado se basó en la combinación de dos procesos sencillos para mejorar la eficiencia en la remoción de materia orgánica del efluente, la aireación fue usada para incrementar la presencia de oxígeno y facilitar la actividad microbiana, y la adición de bacterias para optimizar el proceso del tratamiento.

### 2.2.3 *Proceso de Activación de Bacterias.*

2.3.2.1 Preparación del inóculo. Las bacterias que se utilizaron fueron una mezcla de bacilos de múltiples C BIO-ALIBACILS-ML-01, bacterias facultativas con una amplia aplicación para diversos sistemas de tratamiento, capaces de degradar materia orgánica presente en una variedad de residuos industriales. Para su preparación se requirió diluir la melaza en agua, para ello se colocaron 250 ml de melaza y se aforó a 1000 ml con agua destilada para luego homogeneizarla hasta que la mezcla se presentó bien diluida. Una vez diluida la melaza se añadieron las bacterias en una concentración del 10% teniendo en cuenta el volumen de mezcla y se dejó reaccionar de 24 a 48 horas.

**Figura 9** Diagrama del proceso para preparar el inóculo.

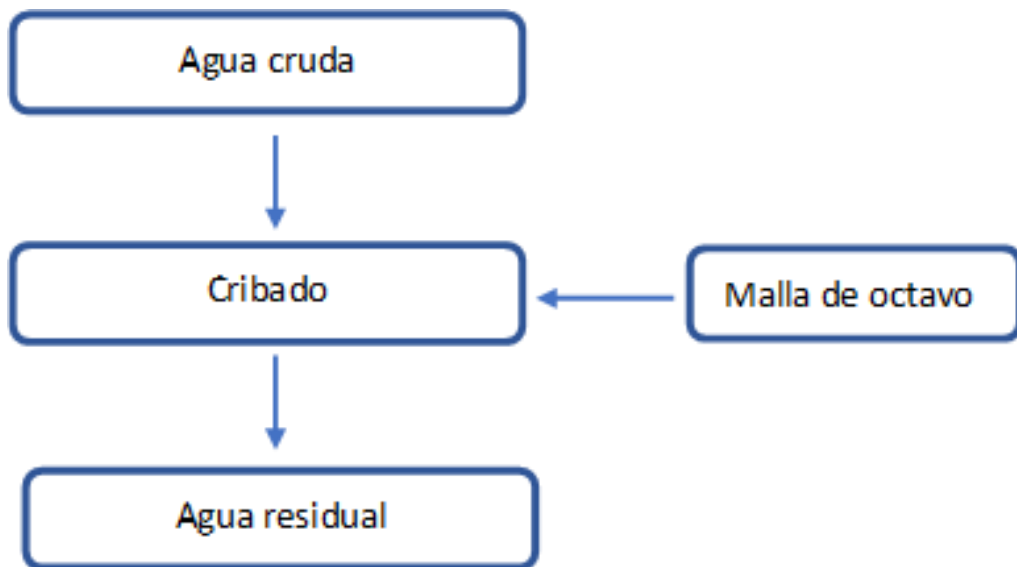


**Fuente:** Elaboración propia.

#### 2.2.4 Pretratamiento.

2.2.4.1 Cribado. Se colocó en la parte superior de una cubeta de plástico una malla de octavo. El tamaño de luz de malla que se tomó en cuenta para el cribado fue determinado por el tamaño mínimo de los sólidos encontrados en la descarga del agua residual. Se trasvasó el agua residual obtenida de la empresa UNICORSA usando la malla de octavo que retuvo y separó los sólidos de mayor dimensión como escamas, espinas y cabezas de camarón, entre otros. La Figura 10, muestra como fue el proceso para retener los sólidos de mayor tamaño presentes en el agua residual.

**Figura 10.** Diagrama del proceso de cribado.



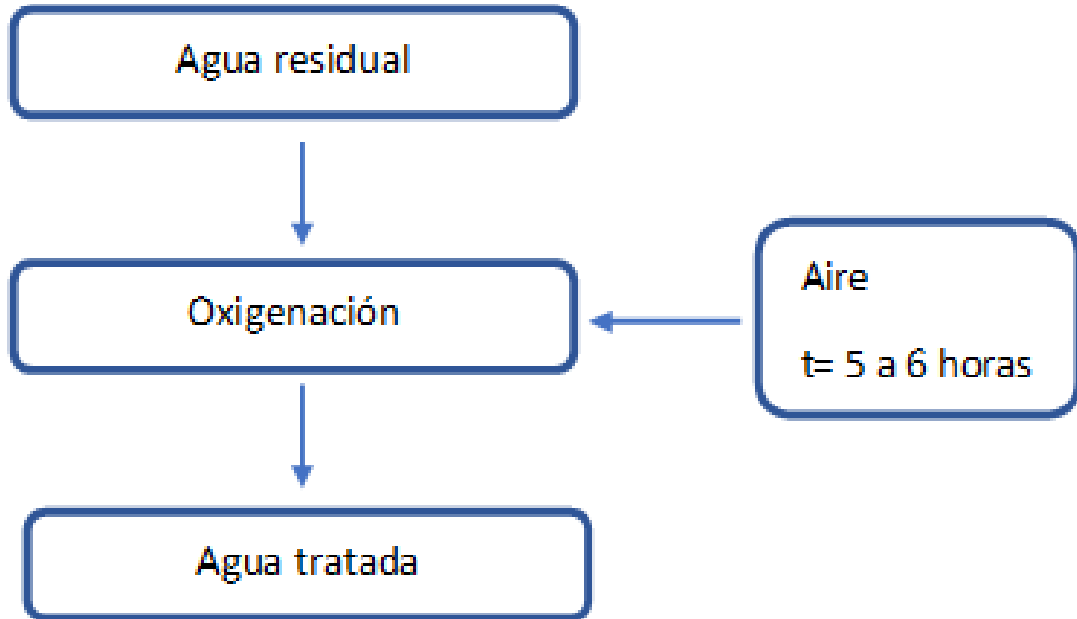
**Fuente:** Elaboración propia.

#### 2.2.5 Tratamiento primario.

2.2.5.1 Aireación con bomba (oxigenación). El agua residual que se filtró anteriormente, fue vertida en un tanque abierto con una bomba acoplada en la parte inferior, esto se realizó con la intención de administrar aire para favorecer la degradación de la materia orgánica que se encontraba presente en el agua residual. Para generar las burbujas de aire pequeñas y mejorar la transferencia del oxígeno se utilizó un tubo de PVC agujerado como difusor. Posterior a ello, el agua que se trató por este método se colocó en frascos ámbar con capacidad de 1 Litro para facilitar el siguiente proceso. En la figura 11, se muestra el diagrama del proceso que se llevó a cabo para la oxigenación del agua residual.



**Figura 11.** Diagrama del proceso de aireación.



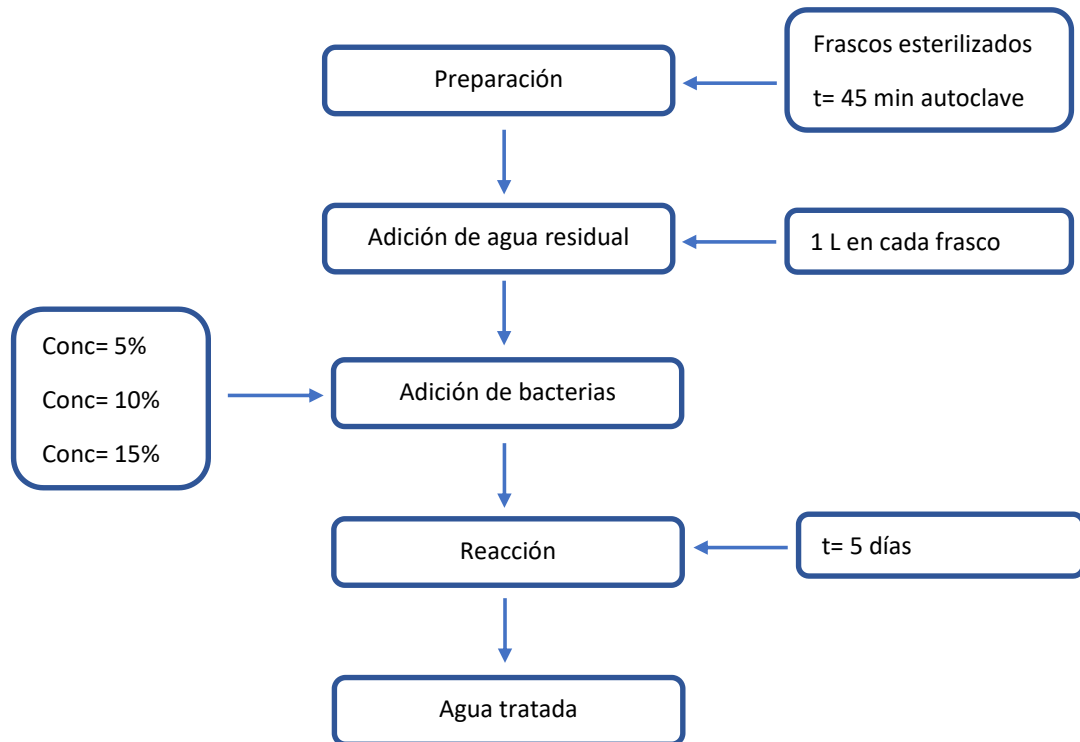
**Fuente:** Elaboración propia.

#### 2.2.6 Tratamiento secundario.

2.2.6.1 Uso de bacterias. Se prepararon tres frascos ámbar, los cuales contenían muestras de agua residual previamente sometida al proceso de aireación. A cada frasco se les agregó una solución de bacterias activadas en diferentes concentraciones: 5,10 y 15% del volumen total del agua tratada contenida en cada frasco, respectivamente. Se dejó reaccionar el inóculo por un transcurso de 5 días. Durante ese periodo de tiempo, fue necesario dejar escapar los gases que se acumulaban de manera periódica.

- Preparación de materiales: los frascos ámbar son esterilizados en el autoclave por alrededor de 45 min.
- Adición de agua: Se coloca 1L de agua residual en cada frasco ámbar.
- Adición de bacterias: se colocaron 50, 100 y 150 ml del inóculo respectivamente en cada frasco.
- Reacción: Se deja reaccionar las bacterias en un transcurso de 5 días.

**Figura 12.** Diagrama del proceso de bioaumentación.



**Fuente:** Elaboración propia.

### 2.2.7 Determinación de parámetros.

2.2.7.1 Determinación de sólidos suspendidos. Se colocó papel filtro en un embudo de vidrio y se procedió a verter el agua residual lentamente. Una vez filtrada toda el agua residual tratada se dejó secar el papel filtro. Una vez secado se pesó el filtro y se restó el peso inicial con el peso obtenido luego del proceso.

2.2.7.2 Determinación de DBO Y DQO. La determinación de los parámetros de DBO y DQO se realizaron en el Laboratorio Anavanlab, laboratorio acreditado para realizar este tipo de análisis por motivo de no contar con los materiales y equipos necesarios.

### 2.2.8 Proceso de recolección y análisis de los datos

2.2.8.1 Técnica de recolección de datos: Para esta investigación, se ha propuesto emplear una técnica experimental y analítica en laboratorio, la cual facilitará la obtención de datos precisos y detallados sobre la disminución de los parámetros DBO, DQO y sólidos suspendidos.

2.2.8.2 Procesamiento de datos: Para esta investigación, se ha optado por un enfoque de diseño que incluye la organización de datos y el análisis básico a través de gráficos de dispersión y análisis de varianza (ANOVA). Estos análisis se realizarán utilizando el programa Excel, lo que permitirá una interpretación clara y una presentación efectiva de los resultados.

## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 3.1 Caracterización del agua residual

Antes de la implementación del proceso de optimización del tratamiento de aguas residuales propuesto, se realizaron análisis preliminares con el objetivo de evaluar las condiciones del efluente. Los resultados obtenidos demostraron que existen varios parámetros en concentraciones elevadas, siendo parte de ellos la DBO, DQO y sólidos suspendidos. La Tabla 4 muestra la comparativa de los datos obtenidos con los límites de la normativa ambiental vigente para los parámetros de DBO, DQO y Sólidos Suspendidos.

**Tabla 5** Concentraciones de parámetros en agua residual.

Parámetro	Resultado	Norma	Unidades
DBO	2296	100	mg/L
DQO	3145	200	mg/L
Sólidos Suspendidos	429	130	mg/L

**Fuente:** Elaboración propia.

Como se puede observar, los valores obtenidos sobrepasan los límites de la norma: AM097A, Anexo 1, Tabla 9, correspondientes a los límites máximos que se permiten para descargar el agua residual hacia un cuerpo de agua dulce, evidenciando de esta manera que en la empresa existe la necesidad de optimizar el tratamiento de sus aguas residuales para reducir el impacto ambiental que estas generan.

#### 3.2 Caracterización físico química del agua tratada

Una vez recolectadas las muestras se procedió a realizar los análisis correspondientes a cada uno. En la tabla 5, se observan los datos obtenidos de los análisis de cada una de las muestras de agua tratada.

**Tabla 6** Caracterización del agua residual tratada.

Muestra	Bacterias (%)	DBO (ml/L)	DQO (mg/L)	SS (mg/L)
1	5	850	1540	190
2	10	520	1020	120
3	15	310	680	85

**Fuente:** Elaboración propia.

3.2.1 *Análisis de eficiencia de tratamiento.* Para calcular la eficiencia que tuvo el método en cada parámetro se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ eficiencia} = \frac{C. \text{ inicial} - C. \text{ final}}{C. \text{ inicial}} * 100$$

Donde:

C. inicial: Concentración del agua residual sin tratar (mg/L).

C. final: Concentración del agua residual tratada (mg/L).

Con la fórmula de eficiencia, se calcula el rendimiento que tuvo cada uno de los tratamientos realizados con las tres concentraciones de bacterias utilizadas para cada parámetro. En la tabla 6. Se evidencia el porcentaje de eficiencia de cada una de las muestras tratadas.

**Tabla 6** Eficiencia del agua residual tratada.

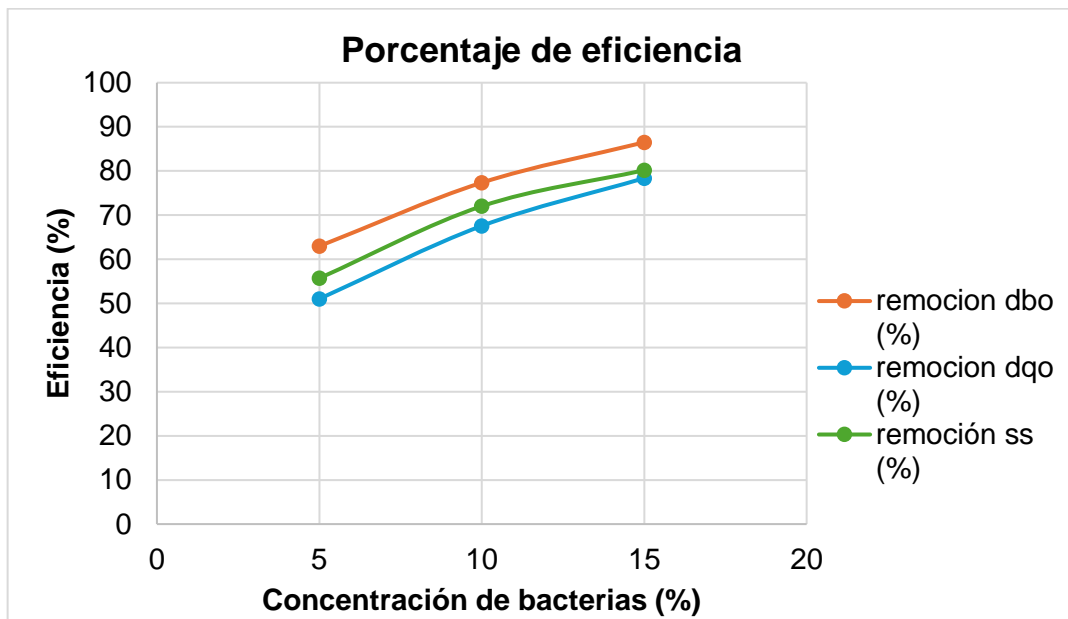
Muestra	Bacterias (%)	DBO mg/L	Eficiencia DBO %	DQO mg/L	Eficiencia DQO %	SS mg/L	Eficiencia SS %
inicial	0	2296	0	3145	0	429	0
1	5	850	62.97	1540	51.03	190	55.71
2	10	520	77.35	1020	67.56	120	72.02
3	15	310	86.49	680	78.37	85	80.18

**Fuente:** Elaboración propia.

Una vez calculado el porcentaje de eficiencia del tratamiento de aguas residuales, se observa una relación proporcional entre la concentración de bacterias y la efectividad del proceso. Es decir, a medida que la concentración de bacterias aumenta, se logra

una mayor reducción en los contaminantes evaluados. En este estudio, se alcanzaron reducciones del 86% en DBO, 78% en DQO y 80% en Sólidos Suspendedos, lo que demuestra la influencia positiva de una mayor carga microbiana en la eficiencia del tratamiento. En la Figura 13, se puede observar que con la mayor concentración de bacterias (15%) se obtiene una eficiencia significativa en la remoción de los niveles de DBO, DQO y Sólidos Suspendedos.

**Figura 13.** Gráfica de dispersión del porcentaje de eficiencia del tratamiento.



**Fuente:** Elaboración propia.

Se realizó un análisis de varianza de un factor (ANOVA) con los datos obtenidos de las muestras con diferentes concentraciones de bacterias para valorar el impacto que tuvo el proceso de tratamiento de aguas residuales para la reducción de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Sólidos Suspendedos (SS).

**Tabla 7** Análisis de varianza del agua residual tratada con 5%, 10% y 15% de concentración de bacterias.

Grupos	Cuenta	Promedio	Varianza	F	p valor	Crítico
850	2	415	22050	10.5097	0.04414	9.55209
1540	2	850	57800			
190	2	102.5	612.5			

**Fuente:** Elaboración propia.

En la Tabla 7, se muestran los resultados del análisis ANOVA realizados en excel, observando que el valor F es 10.51 mismo que supera su valor crítico (9.55). El nivel alfa que se estableció fue de 0.05, y teniendo en cuenta que su p valor es de 0.04414 se considera que existen diferencias significativas entre los tres tratamientos.

Añadiendo distintas concentraciones de microorganismos en el proceso, se concluye que las bacterias influyen de manera significativa en la reducción de contaminantes. Por ende, se rechaza la hipótesis nula, confirmando que al menos uno de los tratamientos presenta distinción al momento de remover DBO, DQO y Sólidos Suspendidos.

**Tabla 8** Comparación de valores obtenidos con los límites permisibles.

<b>Parámetros</b>	<b>Límites permisibles</b>	<b>Muestra cruda</b>	<b>Muestra tratada (15%)</b>	<b>Unidades</b>
DBO	100	2296	310	mg/L
DQO	200	3145	680	mg/L
Sólidos Suspendidos	130	429	85	mg/L

**Fuente:** Elaboración propia.

En la Tabla 8 se presenta la comparación entre los datos obtenidos del agua tratada con una dosificación del 15% de bacterias y los límites permisibles establecidos en la Tabla 9 del Anexo 1 del Libro VI del TULSMA. Los resultados evidencian una reducción significativa en los niveles de DBO, DQO y Sólidos Suspendidos. Sin embargo, a pesar de la mejora en los parámetros, se observa que los valores de DBO y DQO continúan superando los límites permisibles según la normativa vigente. Este resultado indica la necesidad de optimizar el proceso, lo cual podría lograrse mediante la prolongación del tiempo de aireación o la implementación de tratamientos complementarios más eficientes, con el fin de alcanzar los estándares requeridos.

## CAPITULO IV

### 4. CONCLUSIONES

- En el presente trabajo de investigación se logró optimizar el tratamiento de aguas residuales generadas en el proceso de producción de harina de pescado de la empresa UNICORSA mediante la implementación de un sistema sencillo de tratamiento que consta de procesos como el cribado, aireación y adición de bacterias conocido también como bioaumentación, permitiendo reducir de manera significativa los niveles de DBO, DQO y Sólidos Suspendedos.
- Los resultados obtenidos demuestran la existencia de una relación directa entre la concentración de bacterias y la eficiencia del tratamiento aplicado. Se evidencia que un incremento en la cantidad de microorganismos favorece una mayor degradación de la materia orgánica presente en el agua residual, optimizando así la reducción de los parámetros contaminantes evaluados
- Se evidencia que la concentración de sólidos suspendidos se reduce de manera eficiente, logrando cumplir con los límites establecidos en la normativa ambiental vigente. Sin embargo, a pesar de la mejora en el tratamiento, los valores de DBO y DQO aún superan los límites máximos permisibles. Este resultado indica la necesidad de una optimización adicional del proceso, ya sea mediante la prolongación del tiempo de aireación o la implementación de métodos complementarios que mejoren la eficiencia en la remoción de materia orgánica.
- Mediante el análisis estadístico ANOVA realizado, se confirmó que existen diferencias significativas en los tratamientos aplicados para la disminución de contaminantes, asegurando que el método propuesto para el tratamiento del efluente es eficiente.



## **CAPITULO V**

### **5. RECOMENDACIONES**

- Asegurarse que las bacterias que se van a utilizar sean específicamente para la reducción de contaminantes que se requiera.
- Mantener las bacterias en condiciones óptimas por el periodo de tiempo necesario para su activación.
- Aumentar el tiempo de oxigenación del agua residual para obtener una mayor eficiencia en la remoción de materia orgánica antes de la adición de bacterias.

## ANEXOS

### ANEXO A Recolección de muestra de agua residual.



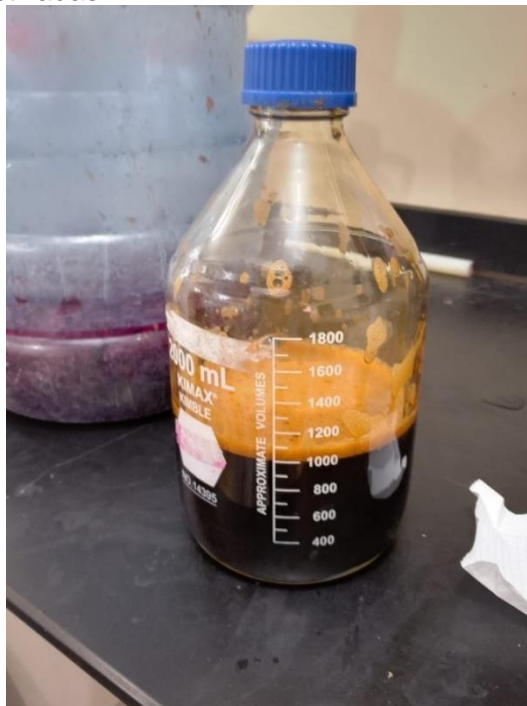
### ANEXO B Esterilizar materiales a usar.



**ANEXO C** Activación de bacterias.



**ANEXO D** Bacterias activadas.



**ANEXO E** Agua residual con materia orgánica



**ANEXO F** Filtración de agua residual para obtener los sólidos suspendidos.

