



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ  
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

**DIRECCIÓN DE CARRERA: MEDIO AMBIENTE**

**INFORME DE TRABAJO DE TITULACIÓN  
PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MEDIO  
AMBIENTE**

**MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**TEMA:**

**EMPLEO DE MICROORGANISMOS EFICIENTES  
(BIOPREPARADO) EN REMOCIÓN DEL  $DBO_5$  Y DQO DE LODOS  
RESIDUALES DE INDUSTRIAS PESQUERAS, CON BASE EN  
COMPOSTAJE.**

**AUTORES:**

**ESCOBAR JURADO KURT ALEXANDER  
MOLINA CEDEÑO CESAR DANILO**

**TUTOR:**

**BLGA. MARÍA FERNANDA PINCAY CANTOS, Mg.  
CALCETA, ABRIL 2019**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

Kurt Alexander Escobar Jurado y Cesar Danilo Molina Cedeño, declaran bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual y su reglamento.

.....  
**KURT A. ESCOBAR JURADO**

.....  
**CÉSAR D. MOLINA CEDEÑO**

## CERTIFICACIÓN DE TUTOR

**BLGA. MARÍA FERNANDA PINCAY CANTOS, Mg**, certifica haber tutelado el trabajo de titulación **EMPLEO DE MICROORGANISMOS EFICIENTES (BIOPREPARADO) EN LA REMOCIÓN DEL DBO5 Y DQO DE LODOS RESIDUALES DE INDUSTRIAS PESQUERAS, CON BASE EN COMPOSTAJE**, que ha sido desarrollada por **KURT ALEXANDER ESCOBAR JURADO Y CESAR DANILO MOLINA CEDEÑO**, previa la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE LA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

.....  
**BLGA. MARÍA FERNANDA PINCAY CANTOS, Mg**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL**

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el trabajo de titulación **EMPLEO DE MICROORGANISMOS EFICIENTES (BIOPREPARADO) EN LA REMOCIÓN DEL DBO5 Y DQO DE LODOS RESIDUALES DE INDUSTRIAS PESQUERAS, CON BASE EN COMPOSTAJE**, que ha sido propuesto, desarrollado por **KURT ALEXANDER ESCOBAR JURADO Y CESAR DANILO MOLINA CEDEÑO**, previa la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

.....  
ING. SERGIO S. ALCÍVAR PINARGOTE, Mg.  
**MIEMBRO**

.....  
ING. JUAN C. LUQUE VERA, Mg.  
**MIEMBRO**

.....  
ING. AGUSTÍN LEIVA PÉREZ, Ph.D.  
**PRESIDENTE**

## AGRADECIMIENTO

A Dios, ;

A nuestros padres;

A nuestra tutora de tesis;

A nuestros compañeros de clases y profesores.

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que me dio la oportunidad de crecer como ser humano a través de una educación superior de calidad y en la cual he forjado mis conocimientos profesionales día a día.

.....  
**KURT A. ESCOBAR JURADO**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, ;

A nuestros padres;

A nuestra tutora de tesis;

A nuestros compañeros de clases y profesores.

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que me dio la oportunidad de crecer como ser humano a través de una educación superior de calidad y en la cual he forjado mis conocimientos profesionales día a día.

.....  
**CESAR D. MOLINA CEDEÑO**

## **DEDICATORIA**

A Dios por darme salud y vida y permitirme cumplir mis metas

A mis padres por brindarme el apoyo durante toda mi etapa universitaria

A mi abuela por la ayuda que me brindo a lo largo de todo este tiempo

**CESAR D. MOLINA CEDEÑO**

## **DEDICATORIA**

A mis padres por estar apoyándome los 6 años que estuve en la universidad

A mis compañeros de clases por la ayuda que nos brindábamos.

.....  
**KURT A. ESCOBAR JURADO**



## CONTENIDO GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA .....	ii
CERTIFICACIÓN DE TUTOR .....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
DEDICATORIA .....	vii
CONTENIDO GENERAL.....	ixx
CONTENIDO DE CUADROS, GRÁFICOS Y FIGURAS .....	xii
RESUMEN .....	xiii
PALABRAS CLAVE .....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
KEYWORDS .....	xiv
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES .....	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	1
1.2. Justificación .....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos específicos .....	3
1.4. Hipótesis.....	3
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Caracterización de aguas residuales de plantas procesadoras de pescado.....	4
2.1.1. Potencial de hidrógeno (pH) .....	4
2.1.2. Sólidos.....	4
2.1.3. Demanda química de oxígeno .....	5
2.1.4. Grasas y aceite .....	5
2.1.5. Nitrógeno y fósforo.....	5
2.1.6. DBO <sub>5</sub> Y DQO .....	6
2.2. Tratamiento de aguas residuales provenientes de plantas procesadoras de atún .....	6
2.2.1. Tratamiento anaerobio .....	7

2.2.1.1.Efecto de la salinidad en los procesos anaerobios.....	7
2.2.2. Tratamientos aerobio .....	8
2.2.2.1.Sistema de lodo activado.....	8
2.2.2.2. . Lecho bacteriano aerobio.....	9
2.2.2.3.Laguna aireada.....	10
2.2.3. Efecto de la salinidad en el proceso aerobio .....	11
2.3. Lodos residuales.....	11
2.4. Compost .....	12
2.4.1. Proceso de compostaje.....	13
2.4.2. Eficiencia de tratamiento de lodos residuales en compostaje .....	13
2.5. Microorganismos eficientes.....	14
2.5.1. Beneficios de los microorganismos eficientes .....	16
2.6. Lodos como residuos de tratamientos en aguas residuales .....	16
2.7. Uso del agua en plantas pesqueras .....	17
2.7.1. Impacto de las plantas procesadoras de atún en el medio ambiente	18
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO.....	19
3.1. Ubicación.....	19
3.2. Duración del trabajo.....	19
3.3. Factor en estudio .....	19
3.4. Tratamientos.....	19
3.5. Diseño experimental .....	20
3.6. Unidad experimental .....	20
3.7. Variables de estudio .....	21
3.7.1. Variable independiente .....	21
3.7.2. Variable dependiente .....	21
3.8. Análisis estadísticos.....	21
3.9. Procedimientos .....	22
3.9.1. Fase i. Determinar el empleo de microorganismos eficientes .....	22
3.9.2. FASE II. Ponderar la eficiencia del tratamiento en lodos residuales de industrias pesqueras con base en COMPOSTAJE .....	25
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
4.1. FASE I. Determinar el empleo de microorganismos eficientes.....	28

4.2. FASE II. Ponderar la eficiencia del tratamiento en lodos residuales de industrias pesqueras con base en compostaje .....	31
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	41
5.1. Conclusiones .....	41
5.2. Recomendaciones .....	41
BIBLIOGRAFÍA .....	42
ANEXOS.....	50

## CONTENIDO DE CUADROS, GRÁFICOS Y FIGURAS

<b>Cuadro 3.1.</b> Detalle de los cuatro tratamientos con sus respectivas concentraciones de lodos residuales y repeticiones del experimento.....	20
<b>Cuadro 3.2.</b> Detalle de los cuatro tratamientos con sus respectivas concentraciones de lodos residuales .....	20
<b>Cuadro 3.3.</b> Detalle de las unidades experimentales del estudio.....	20
<b>Cuadro 3.4.</b> Parámetros físico-químicos analizado en los lodos residuales....	22
<b>Cuadro 3.5.</b> Representatividad de las variables en los tratamientos.....	24
<b>Cuadro 3.6.</b> Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	26
<b>Cuadro 4.1.</b> Condiciones iniciales de los parámetros físico-químicos analizados de lodos residuales .....	28
<b>Cuadro 4.2.</b> Representatividad de las variables en los tratamientos.....	29
<b>Cuadro 4.3.</b> Condiciones finales de los parámetros físico-químicos analizados de lodos residuales. ....	32
<b>Cuadro 4.4.</b> Eficiencia de remoción de los tratamientos .....	39
<b>Cuadro 4.5.</b> Resultados de compost producido a base de lodos tratados .....	38
<b>Gráfico 4.1.</b> Comparación de los niveles $DBO_5$ y DQO iniciales de lodos residuales con los límites máximos establecidos en la normativa ecuatoriana	29
<b>Gráfico 4.2.</b> Promedio de la $DBO_5$ en los cuatro tratamientos aplicados .....	33
<b>Gráfico 4.3.</b> Promedio de la DQO en los cuatro tratamientos aplicados .....	34
<b>Gráfico 4.4.</b> Comparación de los niveles de $DBO_5$ y DQO iniciales y finales de lodos residuales con los límites máximos establecidos en la normativa ecuatoriana (TULSMA, 2015).....	35
<b>Gráfico 4.5.</b> Niveles de pH en los diferentes tratamientos .....	36
<b>Gráfico 4.6.</b> Porcentaje de remoción de DQO en los cuatro tratamientos.....	37
<b>Gráfico 4.7.</b> Porcentaje de remoción de $DBO_5$ en los cuatro tratamientos.....	38
<b>Gráfico 4.8.</b> Diagrama de cajas de la $DBO_5$ y DQO en los distintos tratamientos .....	40

## RESUMEN

Las industrias pesqueras generan grandes cargas de contaminación orgánica y salinidad a las aguas receptoras. El objetivo de la investigación consistió en evaluar la relación entre el empleo de microorganismos eficientes y la remoción de DBO<sub>5</sub> y DQO de lodos residuales de la industria pesquera, con base en compostaje. El estudio se desarrolló a través de un DCA simple, aplicando 4 tratamientos con 3 repeticiones cada uno. Previamente, los tratamientos fueron sometidos a un período de aclimatación y crecimiento de los microorganismos eficientes utilizados como inóculo durante 20 días. El tiempo de ejecución del experimento fue de 15 días en tres concentraciones diferentes de microorganismos (4%; 6%; 8 y 10%). La evaluación del rendimiento de los tratamientos se desarrolló a través de pruebas de laboratorio y análisis estadísticos. Los datos fueron procesados y analizados en SPSS 23.0. De las tres concentraciones utilizadas en el estudio, se encontró que la concentración del 10% fue la más óptima para el tratamiento de los residuales de industrias pesqueras con una remoción del 97,78% de DBO<sub>5</sub> y 95,06% de DQO. El estudio mostró que para ambos parámetros existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Los lodos residuales tratados también presentaron indicadores de que habían sido eficientes al momento de percibir que los olores no eran tan intensos como las muestras iniciales, sin tratamiento; lo cual le hicieron factible para su reutilización en procesos de compostajes, totalmente amigable con el medio ambiente.

## PALABRAS CLAVE

Industrias pesqueras, lodos residuales, compost, DBO<sub>5</sub> y DQO.

## **ABSTRACT**

The fish processing sector brings large loads of organic pollution and salinity to the receiving waters. The objective of this research was to study the effect of the concentration of efficient microorganisms on the efficiency of the treatment of sewage sludge from fishing industries. The study was developed through a simple DCA (3 treatments and 3 repetitions). Prior to the treatment, a period of acclimation and growth of the efficient microorganisms used as inoculum was carried out during 20 days. The execution time of the experiment was 15 days in three different concentrations of microorganisms (4; 6; 8 and 7%). The evaluation of the performance of the treatments was developed through laboratory tests and statistical analyzes. The data was processed and analyzed in SPSS 23.0. It was found that the concentration of 10% was the most optimal for the treatment of waste from fishing industries with a removal percentage of 97.78% for BOD<sub>5</sub> and 95,06 for COD. The study showed that for both parameters there are significant differences ( $p < 0.05$ ) for both BOD<sub>5</sub> and COD. The treated sewage sludge also showed indicators that they had been efficient at the time of perceiving that the aromas were not as intense as the initial samples, without treatment; which made it feasible for its reuse in composting processes, totally friendly with the environment.

## **KEYWORDS**

Fishing industries, sewage sludge, compost, BOD<sub>5</sub> and COD.

# **CAPÍTULO I. ANTECEDENTES**

## **1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Las industrias pesqueras generan contaminación por medio del agua residual derivada de los procesos industriales asociados al procesamiento de peces (Walberg, 2010). Generalmente, estas aguas residuales se recolectan en dos tanques grandes, que contienen 20m<sup>3</sup> y 30m<sup>3</sup> respectivamente (Klädesholmen, 2009). La eficiencia el tratamiento primario es limitado produciendo lodos residuales que son dispuestos finalmente en vertederos o rellenos sanitarios originando una fuerte amenaza para el medio ambiente, en especial para las fuentes hídricas (Peñaherrera, 2015).

Según Llivichuzca (2016) en el Ecuador solo el 12% de las aguas negras tienen un nivel de tratamiento primario, secundario y terciario, siendo Cuenca una de las ciudades que cumple con el 95% del tratamiento de este tipo de agua. Resultado de los tratamientos se generan lodos residuales, Estos lodos residuales producidos por las plantas de tratamientos son dirigidos a los rellenos sanitarios o vertederos, disminuyendo la vida útil del relleno sanitario, existiendo proliferación de microorganismos patógenos, colocando en riesgo la salud pública.

De acuerdo al Ministerio de Ambiente de Ecuador, estos son algunos de los problemas que se presentan actualmente por la mala disposición de estos lodos como: la aparición de vectores (moscas, ratas, entre otros animales), generación de malos olores, afectación de las propiedades físicas del suelo, contaminación de las fuentes hídricas aleñadas y enfermedades (MAE, 2013).

En Manta, la planta de tratamiento IROTOP S.A es la encargada de recibir las aguas residuales de tres industrias que generan el 90% de las aguas residuales, en la parroquia Los Esteros. Su objetivo es la aplicación de principios ambientales y procesos más nítidos en el aprovechamiento de lodos residuales, que actualmente llegan a las 1800 toneladas, con el fin de enmarcar estrategias integradas y preventivas. Sin embargo, esto no ha sido suficiente para controlar la calidad de este tipo de residuos debido a que la capacidad de procesamiento

de la planta es inferior a la cantidad de lodos producidos en todas las industrias pesquera de la parroquia de la ciudad (Gracia y Herrera, 2014). Ante esto, es estratégico que se desarrollen medidas para el aprovechamiento de lodos residuales de industrias pesqueras. Sin embargo, el principal problema de estos residuales es la elevada carga orgánica que poseen por el tipo de compuestos y materiales que se desarrollan en el proceso lo genera (Leal, Panta, Ferrín, Cabo y Rodríguez, 2015). Los microorganismos eficientes son una alternativa para tratar lodos residuales, gracias al poder que tienen para degradar la materia orgánica. No obstante, no todos los microorganismos se pueden adaptar a un tratamiento específico, para ello es importante realizar adaptaciones y que éstos respondan al medio de tratamiento. Ante esto se plantea la siguiente interrogante:

¿Cómo se relaciona el empleo de microorganismos eficientes en la remoción de  $\text{DBO}_5$  y DQO en lodos residuales de la industria pesquera, con base en compostaje?

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

La investigación muestra alternativas de búsquedas para el tratamiento y disposición final de los lodos generados por las Plantas de tratamiento de aguas residuales de industrias pesqueras. El problema del manejo se asocia cuando se desperdicia su potencial de aprovechamiento; aumentando el volumen de materiales residuales en los vertederos o rellenos sanitarios, e incluso en aguas marinas (Coronado, 2018). Por esta razón se busca tratamientos adecuados que permitan la reutilización y aprovechamiento de este tipo de residuos (Trejos y Agudelo, 2012).

Mediante el uso de microorganismos eficientes se propone una alternativa de solución al aspecto *elevada concentración* de carga orgánica en lodos residuales de industrias pesqueras de la parroquia. Este método permitirá solucionar el problema de contaminación recursos naturales producida por los lodos residuales, y a su vez, permitirá el aprovechamiento de estos residuos con otros fines, tales como abonos agrícolas.



Asumiendo que el Objetivo 3 del Buen Vivir, “Garantiza los derechos de los seres humanos y la conservación de la naturaleza”, a llevar procesos de digestión a un debido orden de gestión y manejo de lodos dentro de la empresa como donde son dirigidos en su disposición final.

Considerando que la Constitución de la República del Ecuador en el artículo 14, reconoce el derecho poblacional en vivir en un ambiente sano, garantizando sostenibilidad y preservación. Asimismo, este estudio busca ajustarse al artículo 155, que siendo o no peligroso estos desechos, pueda impactar en el entorno ambiental o a la salud, debido al volumen de generación siendo difícil su degradación, por los cuales se implementa un sistema de recuperación, reúso y manejo con el fin de reducir la cantidad de desechos generados (MAE, 2013).

## **1.3. OBJETIVOS**

### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la relación entre el empleo de microorganismos eficientes y la remoción  $DBO_5$  y DQO de lodos residuales de la industria pesquera, con base en compostaje.

### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar el empleo de microorganismos eficientes.
- Ponderar la eficiencia del tratamiento en lodos residuales de industrias pesqueras con base en compostaje.

## **1.4. HIPÓTESIS**

Los microorganismos eficientes reducen significativamente la  $DBO_5$  y DQO de los lodos residuales producidos en las industrias pesqueras, basado en compostaje.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DE PLANTAS PROCESADORAS DE PESCADO**

El volumen y la concentración de aguas residuales del procesamiento de pescado dependen principalmente de la composición del pescado crudo, aditivo utilizado, procesamiento de la fuente de agua y el proceso de la unidad. Los componentes principales de las aguas residuales de procesamiento de pescado son los lípidos y proteínas (González, 2016).

#### **2.1.1. POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)**

Durante la producción de harina de pescado, el condensado de pescado se produce cuando el rango de pH de 9 a 10. La emisión de amoníaco y la descomposición de la materia proteínica es principalmente dependiente del pH (González, 2016).

#### **2.1.2. SÓLIDOS**

Los sólidos suspendidos pueden afectar la vida acuática al reducir la cantidad de luz que ingresa al agua. Los sólidos suspendidos totales representan aproximadamente el 10-30% del total de sólidos. En general, en el procesamiento de pescado las aguas residuales contienen altos niveles de sólidos en suspensión que son principalmente proteínas y lípidos (Palenzuela, Zeeman, Lubberding, Lettinga y Alaerts, 2012). Por su parte, Carawan, Jones y Hansen (1979) observaron que, en el procesamiento del atún, el valor promedio de los sólidos totales fue de 17,900 mg/dm<sup>3</sup>; de los cuales el 40% era orgánico.

### **2.1.3. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO**

El nivel de demanda de oxígeno químico soluble (DQO) soluble y suspendida en aguas de industrias pesquera varía ampliamente entre la fábrica y el tipo de pescado. Puede llegar a presentar valores que sobrepasan los 9,96 mg/dm<sup>3</sup> (Cristóvão *et al.*, 2015). Estas condiciones de operación variables dificultan la planificación de una planta de tratamiento común para todas las aguas residuales producidas en una sola unidad. Se debe encontrar un proceso específico de tratamiento adecuado para tratar o incluso valorizar y reciclar estas aguas residuales (Cristóvão *et al.*, 2014).

### **2.1.4. GRASAS Y ACEITE**

Parámetros importantes dentro del procesamiento de aguas residuales de industrias pesqueras. Alrededor del 60% del aceite y la grasa se origina en el proceso de carnicería (Jennings *et al.*, 2016). El resto del aceite y la grasa se genera durante el enlatado del pescado y otras operaciones. Estos materiales deben ser eliminados de las aguas residuales porque generalmente flotan en la superficie del agua y afecta la transferencia de oxígeno al agua.

### **2.1.5. NITRÓGENO Y FÓSFORO**

El exceso de nitrógeno (N) y fósforo (P) puede causar proliferación de algas y afectar la vida acuática en un cuerpo de agua. Aunque N y P normalmente están presentes en las aguas residuales de industrias pesqueras, su concentración es mínima en la mayoría de los casos (González, 2015). Los altos niveles de nitrógeno son probablemente debido al alto contenido de proteína (15-20% de peso húmedo) de pescado. En ocasiones, se observa una alta concentración de amoníaco debido al alto contenido de sangre y limo en las aguas residuales. En el condensado de pescado, el contenido total de amoníaco puede ser de hasta aproximadamente 2000 mg/L. Las altas concentraciones de DBO<sub>5</sub> generalmente están asociadas con altas concentraciones de amoníaco. El fósforo también se

origina en parte de los peces, pero también puede ser introducido con agentes de proceso y limpieza (Marín *et al.*, 2015).

### **2.1.6. DBO<sub>5</sub> Y DQO**

Estos parámetros son considerados como la cantidad de materia orgánica presente en los efluentes residuales de industrias procesadoras pesqueras. Generalmente, en estas industrias los parámetros DBO<sub>5</sub> y DQO se presentan en concentraciones superiores (2.290,3 mg/dm<sup>3</sup> y 2.565,6 mg/dm<sup>3</sup>, respectivamente) a las establecidas en la normativa (Leal, Panta, Ferrín, Cabo y Rodríguez, 2015). Las características de estos efluentes tienen el potencial de contaminar y degradar los ambientes de los cuerpos de agua receptores. Ante esta situación, el Ministerio de Ambiente del Ecuador ha aplicado sanciones a estas industrias por no utilizar tecnologías eficientes para el control y tratamiento de los efluentes residuales que permitan mitigar los efectos ambientales (MAE, 2017).

Se ha comprobado que los tratamientos anaeróbicos son eficientes ante la remoción de estos tipos de contaminantes orgánicos. El resultado es que estos compuestos son transformados en lodos biológicos y biogás, aunque un mínimo porcentaje no puede ser biodegradado (Jamieson, Gagnon y Gonçalves, 2017).

## **2.2. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE PLANTAS PROCESADORAS DE ATÚN**

Las fábricas empacadoras de atún producen un gran volumen de residuos contaminantes (40-50% del peso del pescado) que no tienen valor comercial y que poseen una alta concentración de materia orgánica. Después del tratamiento primario adecuado, las aguas residuales son tratadas a través de un sistema biológico de tratamiento de aguas residuales donde los microorganismos están

involucrados en la degradación de la materia orgánica (Veiga, Méndez y Lema, 1994).

### **2.2.1. TRATAMIENTO ANAEROBIO**

El tratamiento anaerobio puede ser usado para la conversión de los contaminantes orgánicos ( $\text{DBO}_5$ , DQO) del agua residual en pequeñas cantidades de lodo y en cantidades mayores de biogás ( $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$ ) pero deja algunos contaminantes que deben ser resueltos por otras tecnologías (Chowdhury, Viraraghavan y Srinivasan, 2010). Según Karadag, Koroğlu, Ozkaya y Cakmakci (2015) las principales ventajas, especialmente para las plantas más grandes son (i) bajos costos de operación, (ii) bajos requerimientos de espacio, (iii) producción útil de biogás, y (iv) baja producción de lodo. Los sistemas anaeróbios son adecuados para el tratamiento de aguas residuales pesqueras debido al alto grado de eliminación de  $\text{DBO}_5$ , lo que resulta en un costo significativamente menor que el aerobio. Además, el metano que se genera puede capturarse y usarse como combustible (Lacovidou y Voulvoulis, 2017).

#### **2.2.1.1. EFECTO DE LA SALINIDAD EN LOS PROCESOS ANAEROBIOS**

Las industrias de procesamiento de pescado requieren una gran cantidad de sal ( $\text{NaCl}$ ) para la conservación del pescado. Las aguas residuales generadas en los procesos son ricas en nitrógeno, materia orgánica y sales. Es bien sabido que el tratamiento anaeróbico de las aguas residuales es inhibido por la presencia de altas concentraciones de cloruro de sodio. La metanogénesis es fuertemente inhibida en concentraciones de sodio de más de 10 g/L (Lefebvre y Moletta, 2006). El tratamiento de aguas residuales de alta salinidad es posible mediante filtros anaerobios de flujo ascendente. En comparación con las unidades de lodo activado, los digestores anaerobios usualmente son más sensibles a la alta salinidad (Monsalvo, 2015).

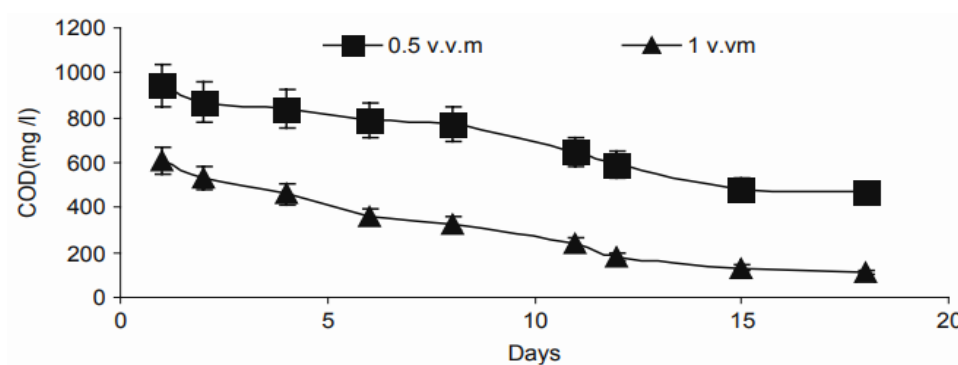
## **2.2.2. TRATAMIENTOS AEROBIO**

### **2.2.2.1. SISTEMA DE LODO ACTIVADO**

En un proceso de lodo activado, la corriente entrante se diluye en un sistema completamente mezclado y por lo tanto es más estable a las perturbaciones, es decir, el reactor es más resistente a cargas de choque de  $\text{DBO}_5$  y compuestos tóxicos. El proceso de lodos activados utiliza microorganismos para alimentarse de contaminantes orgánicos en las aguas residuales, produciendo un efluente de alta calidad. El principio básico detrás de todos los procesos de lodos activados es que a medida que los microorganismos crecen, forman partículas que se agrupan. Estas partículas (floc) se dejan sedimentar en el fondo del tanque, dejando un líquido relativamente claro, libre de material orgánico y sólidos en suspensión (Dai, Chen y Lu, 2016).

Descrito simplemente, las aguas residuales filtradas se mezclan con cantidades variables de líquido reciclado que contiene una alta proporción de organismos extraídos de un tanque de clarificación secundario, y se convierte en un producto llamado licor mixto. Esta mezcla se agita y se inyecta con grandes cantidades de aire, para proporcionar oxígeno y mantener los sólidos en suspensión (Cieślík, Namieśnik y Konieczka, 2015). Después de un período de tiempo, el licor mezclado fluye hacia un clarificador donde se deja asentar. Una parte de las bacterias se elimina a medida que se asienta y el agua parcialmente limpia fluye para un tratamiento adicional.

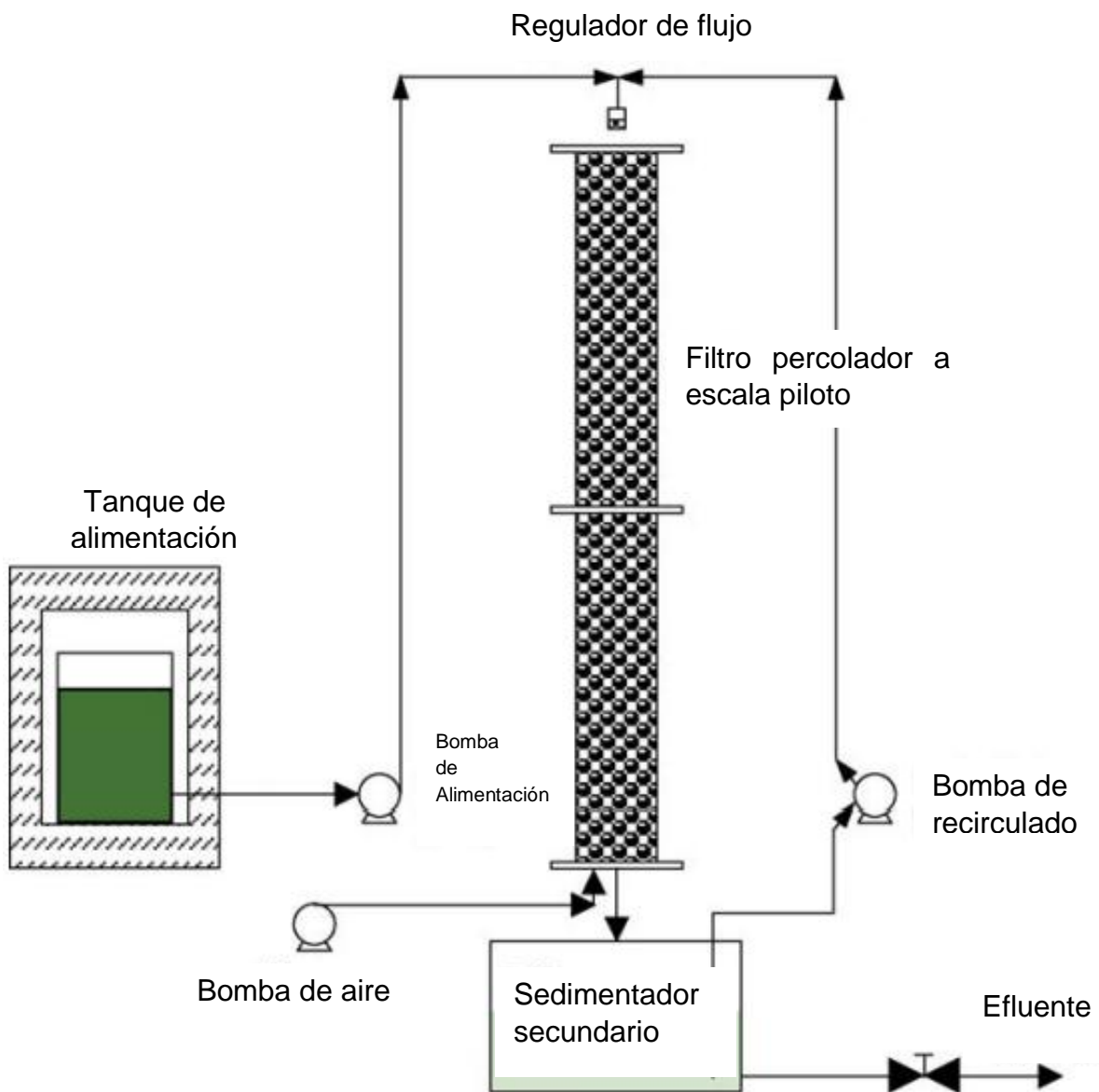
En las aguas residuales pesqueras, pueden aparecer picos de concentración de carga orgánica o variaciones de flujo. Las variaciones de flujo pueden atenuarse en el tratamiento primario tanques (González, 1996). El proceso de lodos activados tiene la ventaja de producir un efluente de alta calidad para unos costos de operación y mantenimiento razonables. En una industria de procesamiento de pescado se utilizan sistemas de lodos activados de tipo aireación extendida. La temperatura tiene una influencia significativa sobre el rendimiento del sistema de aireación extendida donde la pérdida de actividad biológica disminuye la eficiencia del rendimiento de este sistema bajo condiciones de operación (Carawan, Jones y Hansen, 1979) (ver figura 2.1).



**Figura 2.1.** Coeficiente de demanda de oxígeno (COD) durante un tiempo de reacción de más de 15 días. Tasas de aireación de (■): 0,5 v.v.m; (▲): 1 v.v.m. (Aloui *et al.*, 2009)

### 2.2.2.2. LECHO BACTERIANO AEROBIO

El mecanismo principal de un filtro percolador (ver figura 2.2) no es la acción del filtrado por poros finos, sino más bien la difusión y la asimilación microbiana (Benefield y Randall, 1980). La profundidad de penetración del sustrato en una película microbiana depende de varios factores tales como tasa de flujo de aguas residuales, tasa de utilización del sustrato de biomasa y el coeficiente de difusividad de la molécula de sustrato en la película. Dos tipos de medios se usan comúnmente en filtros percoladores: medios filtrantes de piedra y medios sintéticos (González, 2015). En zonas frías, los filtros percoladores pueden estar cubiertos. El diseño puede consistir de un modo sumergido o independiente donde el agua residual se escurre hacia abajo a través del material de la red. Los filtros percoladores pueden reducir la  $DBO_5$  en un 87% (Forbis, Rocha y Deshusses, 2018).



**Figura 2.2.** Diagrama esquemático de un filtro percolador experimental a escala piloto. (Kornaros y Lyberatos, 2006).

### 2.2.2.3. LAGUNA AIREADA

Las lagunas aireadas se utilizan cuando no hay suficiente tierra disponible para la retención estacional o la aplicación de la tierra y la economía no permiten un sistema de lodo activado. Dos tipos de lagunas aireadas se utilizan comúnmente en el tratamiento de aguas residuales pesqueras ya sea lagunas completamente mixtas o facultativas. En las lagunas completamente mixtas, la concentración de sólidos y el oxígeno disuelto se mantienen bastante uniformes y ni los sólidos entrantes ni la biomasa de microorganismos se asientan. En las lagunas



facultativas, las porciones superiores se mantienen en condiciones aerobias mientras que el fondo sufre una descomposición anaerobia. Con las lagunas aireadas aproximadamente se puede eliminar entre el 90-95% de DBO<sub>5</sub> (Carawan, Chambers y Zall, 2009).

### **2.2.3. EFECTO DE LA SALINIDAD EN EL PROCESO AEROBIO**

La alta salinidad de las aguas residuales inhibe fuertemente el tratamiento biológico aeróbico de aguas residuales. Hay efectos negativos sobre el tratamiento aeróbico si las concentraciones de cloruro están por encima de 5000-8000 mg/dm<sup>3</sup> (Bassin *et al.*, 2011).

## **2.3. LODOS RESIDUALES**

El lodo, que se origina en el proceso de tratamiento de las aguas residuales, es el residuo generado durante el tratamiento primario (físico y/o químico), secundario (biológico) y terciario (adicional al secundario, a menudo de eliminación de nutrientes). Las fuentes de sólidos en una planta de tratamiento varían según el tipo de planta y su método de operación. Obviamente, para poder tratar y eliminar de manera efectiva los lodos que se producen en una planta de aguas residuales, es crucial conocer las características de los lodos que se procesarán (Fytili y Zabaniotou, 2008).

Debe indicarse que muchos de los componentes químicos, incluidos los nutrientes, son importantes al considerar la eliminación definitiva de los lodos procesados y el líquido extraído de los lodos durante el tratamiento. Según Tchobanoglous y Burton (1979) el control de los niveles de pH, la alcalinidad y el contenido de ácido orgánico son parámetros importantes en el proceso de digestión anaerobia. Además, el contenido de metales pesados, pesticidas e hidrocarburos también debe determinarse cuando se incineran los lodos de aguas residuales o se rellenan. Por último, Hall (1995) encontró que el contenido

energético (térmico) de los lodos es significativo cuando se consideran los procesos térmicos (gasificación, pirólisis, combustión, oxidación húmeda).

## **2.4. COMPOST**

Las principales materias primas utilizadas para el compost son los residuos agrícolas (incluidos los residuos de la cría de animales) y los residuos agroindustriales, así como la fracción orgánica putrescible de los residuos sólidos municipales (RSU) (Füleky y Benedek, 2010). La mayoría de las materias primas empleadas incluyen desechos de frutas y vegetales, leguminosas, cáscaras de diferentes cultivos, residuos de cosechas (p. ej., mazorcas, restos y hojas), diversos tipos de estiércol (ganado, aves de corral, cerdo) y residuos domésticos (principalmente de cocina), entre otros (Gaind, 2014). El primer procedimiento para hacer compost es la formulación de las materias primas. Para esto, la relación carbono/nitrógeno de la mezcla inicial de materias primas debe estar entre 30 y 35% para garantizar las condiciones adecuadas para que los microorganismos descompongan y transformen la materia orgánica (Shammas y Wang, 2009) aunque se pueden utilizar valores de hasta 25% pero con un aumento en el tiempo total de compostaje.

Algunas de las materias primas utilizadas con mayor frecuencia tienen un contenido de nitrógeno relativamente bajo (como en el caso de muchos materiales de origen vegetal como el pasto), por lo que se agregan materiales ricos en nitrógeno como estiércol o algunas fracciones de RSU para alcanzar la relación C/N adecuada. Del mismo modo, para el desarrollo adecuado de los microorganismos, la humedad de las materias primas debe estar en el rango de 55–65% (Shilev, Naydenov, Vancheva y Aladjadjian, 2007) y el manejo de las pilas de compost debe garantizar la presencia de oxígeno de tal manera que no surjan zonas anóxicas durante el proceso (Shammas y Wang, 2009).

### **2.4.1. PROCESO DE COMPOSTAJE**

El compostaje se define generalmente como la descomposición biológica oxidativa de la materia orgánica en residuos de casi cualquier naturaleza bajo condiciones controladas (Majumder y Balapgol, 2016). Este proceso requiere condiciones especiales, particularmente de temperatura, humedad, aireación, pH y relación C/N, para la óptima actividad biológica en las diversas etapas del proceso. Los principales productos del compostaje aeróbico son dióxido de carbono, agua, iones minerales y materia orgánica estabilizada, a menudo llamada humus. De acuerdo a Gil, Toledo, Siles y Martín (2018) en el compostaje intervienen las siguientes fases:

- Fase inicial, en la que los componentes fácilmente degradables se descomponen.
- Fase termófila durante la cual la celulosa y materiales similares se oxidan por la alta actividad biooxidativa de los microorganismos.
- Fase de maduración y estabilización.

El proceso también se puede discutir en términos de dos fases bien definidas:

- La mineralización, que implica la degradación de sustancias orgánicas fermentables como azúcares, aminoácidos, etc.
- La degradación, que consiste de actividades microbianas intensivas que producen calor, dióxido de carbono y agua y residuos orgánicos transformados y estabilizados.

### **2.4.2. EFICIENCIA DE TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES EN COMPOSTAJE**

En estudios de compostaje de lodos de aguas residuales, se ha observado reducciones de hasta el 58 % del contenido de agua. En condiciones de campo, esta reducción en el contenido de agua facilita el funcionamiento de la aplicación

de compost (Zhao, Zhang, Zhang y Yin, 2014). Sin embargo, a pesar de que es eficiente en parámetros esenciales, también se ha comprobado que el contenido de nitrógeno del compost es menor que los sólidos suspendidos; lo que implicaría una mayor producción. Pero el compost incorpora sustancias húmicas en el suelo, lo que aumenta la fertilidad de suelos altamente erosionados en condiciones tropicales (Moretti, Bertoncini y Abreu, 2015). Uno de los parámetros más reducidos en el compostaje es la carga orgánica (figura 2.2). Las propiedades electroquímicas del lodo residual se han mejorado en estudios relacionados con compostaje de lodos.

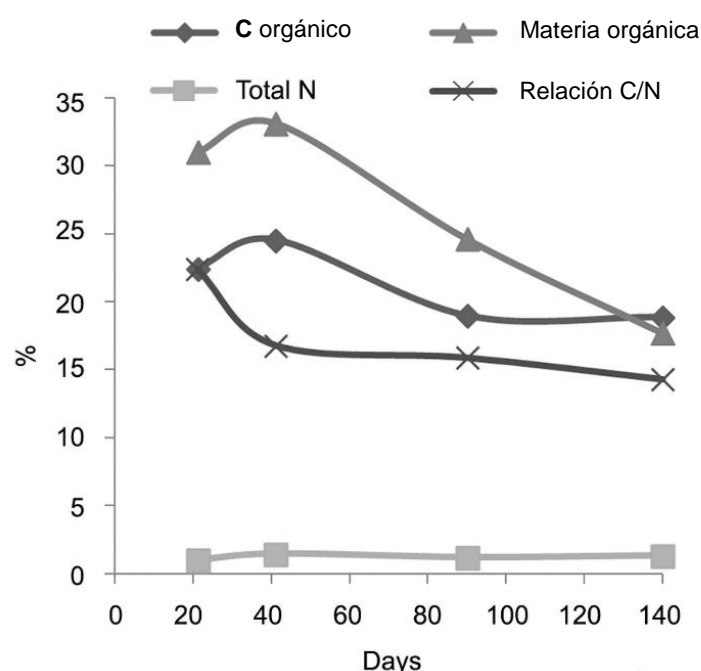


Figura 2.2. Cambio en C, N, contenido de materia orgánica y relación C / N.

Fuente: Moretti, Bertoncini y Abreu (2015).

## 2.5. MICROORGANISMOS EFICIENTES

El uso de microorganismos eficientes (ME) se desarrolló durante la década de 1970 en la Universidad de Ryukyus, Okinawa, Japón (Pushpa, Sekaran, Basha y Jegan, 2016). Los estudios han sugerido que los ME pueden tener una serie de aplicaciones, que incluyen agricultura, ganadería, jardinería y jardinería, compostaje, biorremediación, limpieza de fosas sépticas, control de algas y uso doméstico. Los ME son una mezcla de grupos de organismos que tienen una acción revitalizadora sobre humanos, animales y el medio ambiente natural y

también se ha descrito como un multicutivo de coexistencia anaeróbica y microorganismos beneficiosos aeróbicos. Las principales especies que constituyen los ME incluyen:

- Bacterias del ácido láctico - *Lactobacillus plantarum*, *L. casei*, *Streptococcus lactis*.
- Bacterias fotosintéticas - *Rhodopseudomonas palustris*, *Rhodobacter spaeroides*.
- Levaduras - *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida utilis*.
- Actinomicetos - *Streptomyces albus*, *S. griseus*.
- Fermentación hongos - *Aspergillus oryzae*, *Mucor hiemalis* (Diver, 2001).

De acuerdo a Zhang *et al.* (2016) los microorganismos eficientes son un cultivo de microorganismos beneficiosos coexistentes que consisten predominantemente en bacterias ácido lácticas, bacterias fotosintéticas, levaduras, hongos fermentadores y actinomicetos que se reivindica que aumentan la renovación microbiana en el suelo y, por lo tanto, aumentan los macronutrientes del suelo e incrementan el crecimiento y rendimiento de las plantas. Son una gran alternativa para el tratamiento de aguas residuales o efluentes (Guo *et al.*, 2015). Estudios demuestran que los microorganismos eficientes ayudan en la reducción de alcalinidad, sólidos disueltos totales, demanda biológica de oxígeno y demanda química de oxígeno de las aguas residuales domésticas en condiciones estándares. Generalmente, no se registran cambios en la población de hongos y actinomicetos (Namsivayam, Narendrakumar, y Kumar, 2014). Estos microorganismos tienen el potencial de mejorar la efectividad del tratamiento de desechos domésticos.

### **2.5.1. BENEFICIOS DE LOS MICROORGANISMOS EFICIENTES**

Uno de los principales beneficios del uso de ME es la reducción en el volumen de lodo. Teóricamente los organismos benéficos presentes en el ME descomponen la materia orgánica convirtiéndola a dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) al usarla para el crecimiento y la reproducción. Este es el caso de las plantas de tratamiento de aguas residuales y también de las fosas sépticas. Los autores Kamali, Gameiro, Costa y Capela (2016) sugieren que la introducción de ME en plantas de tratamiento anaerobias ayudaron a reducir los subproductos desagradables de esta descomposición y también redujeron la producción de lodo residual. Estos factores tienden a sugerir que teóricamente los ME ayudan en el tratamiento de aguas residuales mejorando la calidad del agua descargada y reduciendo el volumen de lodo de aguas residuales producido.

### **2.6. LODOS COMO RESIDUOS DE TRATAMIENTOS EN AGUAS RESIDUALES**

El residuo que se acumula en las plantas de tratamiento de aguas residuales se denomina lodo (o biosólidos). El tratamiento y la eliminación de los lodos industriales son factores importantes en el diseño y operación de todas las plantas de tratamiento de aguas residuales (Koch, Helmreich, Drewes, 2015). Dos objetivos básicos del tratamiento del lodo antes de la eliminación final son reducir su volumen y estabilizar los materiales orgánicos (Gualberto, 2014). El lodo estabilizado no tiene un olor ofensivo y puede usarse sin causar molestias o riesgos para la salud. Un volumen de lodo más pequeño reduce los costos de bombeo y almacenamiento (Yang, Zhang y Wang, 2015).

De acuerdo a Ribeiro *et al.* (2015) los lodos de aguas residuales se han utilizado ampliamente como fertilizante orgánico. Sin embargo, su uso continuo puede causar desequilibrios en la fertilidad del suelo y en la contaminación del sistema suelo-agua-planta.

## 2.7. USO DEL AGUA EN PLANTAS PESQUERAS

El procesamiento del pescado requiere grandes cantidades de agua, principalmente para propósitos de lavado y limpieza, pero también como medio de almacenamiento y refrigeración de productos pesqueros antes y durante el procesamiento. Además, el agua es un importante lubricante y medio de transporte en los diversos pasos de manipulación y procesamiento del procesamiento de pescado a granel.

Las plantas procesadoras de pescado generan grandes volúmenes de aguas residuales. El uso promedio de agua durante diferentes operaciones unitarias en una planta de enlatado del golfo indica que los trabajadores utilizan hasta el 58,1% del agua total consumida (Carawan, 1991). Las plantas de procesamiento de atún pueden tener descargas de aguas residuales tan altas como 13627,4m<sup>3</sup>/d en países desarrollados (Chowdhury, Viraraghavan y Srinivasan, 2010).

En el enlatado de atún, las aguas residuales se generan a partir de la descongelación, lavado y eviscerado, enfriamiento y lavado de pescados y latas de pescado después de la cocción, y la limpieza de las áreas de lavado (Palenzuela, Zeeman, Lubberding, Lettinga y Alaerts, 2012). El alto consumo de agua también puede deberse al alto consumo de agua de la línea base. El consumo de agua en las fábricas de pescado japonesas varía de 15,02 L/kg a 50,07 L/kg (1800 gal/1000 lb a 6000 gal/1000 lb) para los distintos tipos de plantas. Las aguas residuales del procesamiento de pescado y la pesca industrial son muy diversas. Cada planta es única, por lo que las generalizaciones sobre el uso del agua y las características de las aguas residuales son difíciles (Carawan, 2009).

### **2.7.1. IMPACTO DE LAS PLANTAS PROCESADORAS DE ATÚN EN EL MEDIO AMBIENTE**

Las industrias de atún, como cualquier otro tipo de desarrollo industrial, impactan los ecosistemas circundantes. Las principales preocupaciones ambientales que las personas tienen con las industrias de atún son agotamiento de las poblaciones de peces y contaminación (Barclay, 2010).

Las plantas procesadoras de atún generan grandes cantidades de residuos. Estos pueden ser residuos de pescado sólido y de aguas residuales que se originan en los diversos procesos de producción. Debido a la dificultad de tratar los grandes volúmenes de agua producidos, algunas empresas recurren a prácticas poco amigables con el ambiente tales como el vertido de las aguas contaminadas directamente al mar. Además, los malos olores en las inmediaciones de las fábricas constituyen un problema serio que afecta a las personas que habitan en ciudades productoras de atún enlatado (Achour, Khelifi, Bouazizi y Hamdi, 2000).



## **CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO**

### **3.1. UBICACIÓN**

Esta investigación se desarrolló en las instalaciones de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí. En el campus ubicado en el sitio El Limón.



**Figura 3.1.** Lugar de ejecución del experimento.

### **3.2. DURACIÓN DEL TRABAJO**

La investigación tuvo una duración de nueve meses, a partir de la aprobación de la propuesta de titulación.

### **3.3. FACTOR EN ESTUDIO**

Concentración de microorganismos eficientes.

### **3.4. TRATAMIENTOS**

Se realizó cuatro tratamientos, cada uno con tres repeticiones; lo que tuvo un total equivalente a 12 unidades experimentales.

**Cuadro 3.1.** Detalle de los cuatro tratamientos con sus respectivas concentraciones de lodos residuales y repeticiones del experimento

Códigos de las unidades experimentales	Concentración de microorganismos eficientes (%)
T1R1	4
T2R1	6
T3R1	8
T4R1	10
T1R2	4
T2R2	6
T3R2	8
T4R2	10
T1R3	4
T2R3	6
T3R3	8
T4R3	10

### 3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se realizó un DCA simple porque la variable dependiente fue de carácter numérica continua (cuadro 3.2). Posteriormente, los resultados fueron procesados utilizando un análisis de varianza en el software SPSS 21.0.

**Cuadro 3.2.** Detalle de los cuatro tratamientos con sus respectivas concentraciones de lodos residuales

Tratamientos	Lodos residuales de industrias pesqueras
T1	4%
T2	6%
T3	8%
T4	10%

### 3.6. UNIDAD EXPERIMENTAL

De acuerdo al tipo de diseño elegido y el número de repeticiones para el estudio resultó un total de nueve unidades experimentales (cuadro 3.3).

**Cuadro 3.3.** Detalle de las unidades experimentales del estudio

# Tratamiento	# Dosis	Lodos residuales	Total de muestra a tratar (mL)
T1R1	4	Dilución al 50%	1000

T2R1	6	Dilución al 50%	1000
T3R1	8	Dilución al 50%	1000
T4R1	10	Dilución al 50%	1000
T1R2	4	Dilución al 50%	1000
T2R2	6	Dilución al 50%	1000
T3R2	8	Dilución al 50%	1000
T4R2	10	Dilución al 50%	1000
T1R3	4	Dilución al 50%	1000
T2R3	6	Dilución al 50%	1000
T3R3	8	Dilución al 50%	1000
T4R3	10	Dilución al 50%	1000

### **3.7. VARIABLES DE ESTUDIO**

#### **3.7.1. VARIABLE INDEPENDIENTE**

Microorganismos eficientes.

#### **3.7.2. VARIABLE DEPENDIENTE**

DBO<sub>5</sub> y DQO de lodos residuales.

### **3.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS**

Para el procesamiento de datos se realizarán los siguientes análisis estadísticos: como diagramas de cajas, tablas de frecuencias, medidas de tendencia central, entre otros a través del paquete ggplot2 del software R-project versión 3.3.3 (2017).

A través del software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS, 2017) versión 20, se realizará la prueba estadística Análisis de Varianza de un factor (ANOVA) para la comprobación de la hipótesis planteada.

### 3.9. PROCEDIMIENTOS

#### 3.9.1. FASE I. DETERMINAR EL EMPLEO DE MICROORGANISMOS EFICIENTES

##### Actividad 1. Caracterización de lodos residuales de una industria pesquera

Durante el período de las pruebas en laboratorio, se recolectó 50 kg de lodos residuales de una industria pesquera de la ciudad de Manta. Las muestras recolectadas se dejaron reposar durante 90 minutos siguiendo la metodología de Cristóvão *et al.* (2015). Posteriormente, se analizó parámetros físico-químicos de la muestra de lodo en estudio.

**Cuadro 3.4.** Parámetros físico-químicos analizado en los lodos residuales.

Parámetro	Unidad de medida
pH	---
Temperatura	°C
Conductividad	Ms
Color	pt/co (hz)
DQO	mg/dm <sup>3</sup>
DBO <sub>5</sub>	mg/dm <sup>3</sup>

Los parámetros de pH, temperatura y conductividad fueron analizados a través del equipo de uso múltiple con las funciones de potenciómetro y conductímetro. Para esto, previamente se pesó 10 g de muestra de lodos y se colocó dentro de un vaso de precipitación añadiendo 10 mL de agua destilada. La muestra se homogenizó dentro de un agitador magnético por 15 min.

Para el análisis de DQO se siguió el procedimiento del método de dilución sólida (SD y SM-ORT) establecido por Noguerol, Rodríguez, Romero y Flotats (2012) que consistió en:

1. Lavar los tubos y tapas de cultivo con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 20% antes del primer uso para evitar la contaminación.

2. Aproximadamente 200 mg de la muestra de lodo se mezcló con 1-2 g de tierra siliciosa o sulfato de sodio como agente diluyente, y posteriormente, se maceró la muestra mezclada.
3. Se pesó directamente (10-50 mg) la muestra macerada dentro de los recipientes de digestión de vidrio, y se añadió 50 cm<sup>3</sup> de agua destilada.
4. Posteriormente, se añadió 25 cm<sup>3</sup> del reactivo de digestión y 75 cm<sup>3</sup> de reactivo de ácido sulfúrico lenta y cuidadosamente a la mezcla.
5. Los tubos fueron cerrados e invertidos varias veces para mezclarlos por completo.
6. El cálculo de Demanda química de oxígeno se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$DQO = \frac{(A - B) * M * 8000}{\text{cm}^3 \text{ de muestra}} \quad [3.1]$$

**Dónde:**

DQO= Demanda química de oxígeno (mgO<sub>2</sub>/L)

A= mL FAS utilizado para blanco,

B= mL FAS utilizado para la muestra,

M= molaridad de FAS,

8000= miliequivalentes de peso de oxígeno 1000 cm<sup>3</sup>/L.

$$M = \frac{\text{Volumen } 0,01667M \text{ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \text{ solución titulada, cm}^3}{\text{Volumen FAS utilizado en titulación, cm}^3} * 0,1000 \quad [3.2]$$

Para el cálculo de la DBO<sub>5</sub> se desarrolló el siguiente procedimiento:

1. En un vaso de precipitación de 100 cm<sup>3</sup> se agregó 20 g de la muestra. Luego, se llevó a una probeta y se agregó los 20 g de la muestra más 80 cm<sup>3</sup> de agua destilada.
2. Se procedió a rotular y colocar en una probeta de 50 cm<sup>3</sup> donde solamente se tomó 43,5 cm<sup>3</sup> de la muestra.
3. En un frasco ámbar, donde se agregaron balas magnéticas e hidróxido de sodio, se la muestra y fueron cerradas con las cabezas de marciano.
4. Finalmente se programó el agitador durante 5 días y las muestras fueron colocadas para la obtención de resultados.

## Actividad 2. Desarrollo del experimento

Los lodos residuales sin tratar se diluyeron con agua destilada para lograr la concentración requerida (50% dilución de residuales de procesamiento de pescado originales) a 4 concentraciones diferentes de microorganismos eficientes (4%, 6%, 8% y 10%); considerando 4 de las 11 concentraciones utilizadas por Ching y Redzwan (2017) en un estudio similar con NaCl. Las aguas residuales se utilizaron como el alimento y fueron mantenidas en un refrigerador a 4°C. Se mantuvo en un depósito de alimentación y la mezcla se aplicó manualmente a intervalos regulares.

Para los 4 tratamientos con sus 3 respectivas repeticiones, se realizó una estimación de las cantidades necesarias de los diferentes compuestos para el desarrollo del experimento (ver cuadro 3.5).

**Cuadro 3.5.** Representatividad de las variables en los tratamientos

Tratamientos	Agua destilada (%)	Concentración de microorganismos eficientes (%)	Lodos residuales (g)	Total muestra (mL)
T1	48	4	48	1000
T2	47	6	47	1000
T3	46	8	46	1000
T4	45	10	45	1000

A cada unidad experimental se le hizo funcionar de manera continua con una velocidad de agitación de 250 rotaciones por minuto (rpm) para un mezclado uniforme; controlando manualmente las variables imprevistas, como lo recomiendan Cristóvão *et al.*, (2015).

Se desarrolló un DCA simple (4 tratamientos y 3 repeticiones). Antes de realizar los estudios de tratamiento biológico en sí mismos, como se mencionó anteriormente, se llevó a cabo un período de aclimatación y crecimiento de los microorganismos eficientes utilizados como inóculo en modo de lotes durante 20 días (Cristóvão *et al.*, 2015).

Se sembró poblaciones de microorganismos eficientes (biopreparado) que se basó en un agregado orgánico de bacterias nitrificantes (30%) y ácido láctico (12%), estreptococos (5%), Levaduras *Sacharomyces* (15%) y *Streptomyces* (15%) enriquecido con solución de aminoácidos (13%) y enzimas (10%). Se estabilizó la solución a pH casi neutro, a través de la adición de NaOH en función de la curva de titulación. El objetivo del equilibrio del pH fue permitir que los microorganismos del biopreparado pudiesen sobrevivir y adaptarse a los lodos residuales ya que su pH óptimo es de 6,8 y de esta forma pueden desarrollarse el crecimiento poblacional la biopelícula del filtro. Diariamente, durante 15 días se realizó la estabilización y medición del pH. El tiempo de ejecución del experimento fue de 15 días.

### **3.9.2. FASE II. PONDERAR LA EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO EN LODOS RESIDUALES DE INDUSTRIAS PESQUERAS CON BASE EN COMPOSTAJE**

#### **Actividad 3. Realizar el análisis de variación de los resultados en los datos obtenidos de DBO<sub>5</sub> y DQO con los distintos tratamientos**

Se desarrolló el mismo procedimiento de la actividad 1 para cada unidad experimental (nueve muestras en total) conocer los niveles de concentración de DBO<sub>5</sub> y DQO post-tratamiento. Las muestras fueron analizadas en laboratorio siguiendo los estándares y procedimientos de calidad para evitar errores o

alteraciones en los resultados, como lo propone el Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN, 2018).

#### **Actividad 4. Contrastar los datos de los análisis post tratamiento de DBO<sub>5</sub>/DQO con la normativa ambiental aplicable**

Los resultados obtenidos en el análisis post-tratamiento de los parámetros de la DBO<sub>5</sub> y DQO, y pH fueron comparados con los límites de descarga de efluentes a cuerpos de agua marina (Cuadro 3.6) establecidos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA, 2015). La finalidad de la comparación fue identificar si los tratamientos aplicados permitieron estabilizar los niveles de DBO<sub>5</sub> y DQO, en función de los criterios definidos en la normativa ambiental ecuatoriana.

**Cuadro 3.6.** Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO <sub>5</sub>	mg/dm <sup>3</sup>	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/dm <sup>3</sup>	250

Fuente: TULSMA (2015)

#### **Actividad 5. Cálculo del porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> y DQO**

La remoción de DBO<sub>5</sub> y DQO de los lodos tratado se calculó a través de ecuación 3.1 utilizada por Darajeh *et al.* (2016) en un estudio similar.

$$E_r = \frac{CO_i - CO_f}{CO_i} * 100 \quad [3.1]$$

**Donde:**

$E_r$  = Remoción de DBO<sub>5</sub> y DQO (%)

$CO_i$  = DBO<sub>5</sub> y/o DQO inicial (mg/dm<sup>3</sup>)

$CO_f$  = DBO<sub>5</sub> y/o DQO final (mg/dm<sup>3</sup>)



**Actividad 6. Establecer una medida de utilidad para el compost producido en función de los resultados**

Según los resultados de los análisis de laboratorio y la eficiencia del estudio, se estableció producir compostaje a base de los lodos residuales de industrias pesqueras, como una medida alternativa para que éstos sean incorporados en procesos como una alternativa; evitando así contaminar los recursos disponibles donde estos son vertidos.

**Actividad 7. Aplicar una prueba estadística para comprobar la eficiencia de los microorganismos para reducir los niveles de DBO<sub>5</sub>/DQO**

El análisis estadístico se realizó a través del software SPSS 23.0. Se eligió el análisis de varianza de un factor (ANOVA) para determinar si hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los tratamientos.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. FASE I. DETERMINAR EL EMPLEO DE MICROORGANISMOS EFICIENTES

#### Actividad 1. Caracterización de lodos residuales de una industria pesquera

La caracterización de los residuales fue un factor crítico para establecer una estrategia de gestión efectiva o proceso de tratamiento correspondiente. Por lo tanto, para obtener un conjunto representativo de información sobre los residuales industriales pesqueros, se recolectaron y caracterizaron varias muestras durante casi un mes. El cuadro 4.1 presenta los promedios de las condiciones iniciales de lodos residuales.

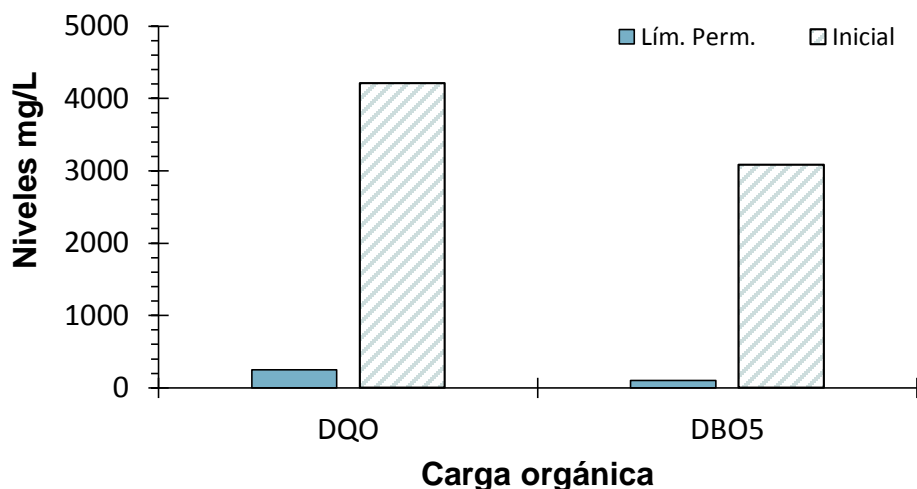
**Cuadro 4.1.** Condiciones iniciales de los parámetros físico-químicos analizados de lodos residuales

Parámetro	Unidad de medida	Resultado
pH	---	9,10
Temperatura	°C	25,4
Conductividad	Ms	14,29
DBO <sub>5</sub>	mg/dm <sup>3</sup>	3087
DQO	mg/dm <sup>3</sup>	4213

Fuente: Los autores

El pH de los lodos presentó un nivel con tendencia alcalina (9,10); contrastando con los presentado por Chowdhury, Viraraghavan y Srinivasan (2010) quienes encontraron que el pH de los efluentes industriales pesqueros suele ser casi neutro. El rendimiento del tratamiento biológico de este tipo de residuales se optimizó con respecto al DQO y DBO<sub>5</sub> inicial mediante la aplicación de un diseño completamente al azar.

En el grafico 4.1 se puede evidenciar cómo los niveles de los residuales de la industria pesquera sobrepasan significativamente los límites máximos permisibles de descarga para los parámetros de DBO<sub>5</sub> y DQO.



**Gráfico 4.1.** Comparación de los niveles DBO<sub>5</sub> y DQO iniciales de lodos residuales con los límites máximos establecidos en la normativa ecuatoriana

**Fuente:** Los autores

## Actividad 2. Desarrollo del experimento

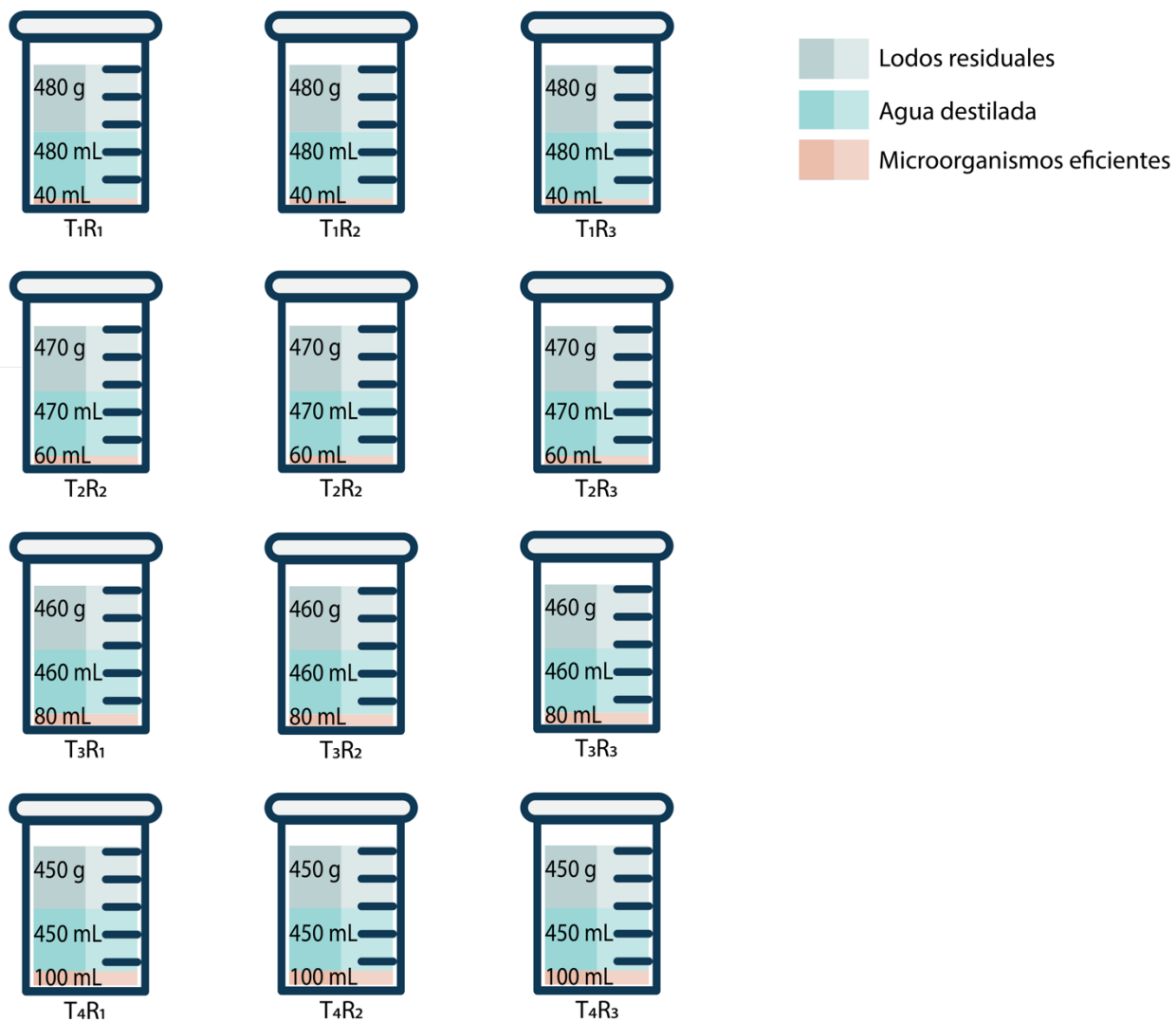
En el cuadro 4.2 se muestran las cantidades específicas de las diferentes variables de los experimentos. El tratamiento 4 fue al que se le aplicó una mayor cantidad de microorganismos eficientes y menor cantidad de lodos residuales de industrias pesqueras para que la cantidad total de la mezcla fuera constante.

**Cuadro 4.2.** Representatividad de las variables en los tratamientos

Tratamientos	Agua destilada (mL)	Microorganismos eficientes (mL)	Lodos residuales (g)	Total mezcla (mL)
T1	480	40	480	1000
T2	470	60	470	1000
T3	460	80	460	1000
T4	450	100	450	1000

**Fuente:** Los autores

En la figura 4.1 se representa gráficamente cómo los tratamientos fueron ejecutados, en función de los diferentes niveles de las variables y sus respectivas repeticiones.



**Figura 4.1.** Representación de los diferentes tratamientos con sus repeticiones y los niveles de las variables

**Fuente:** Los autores

## **4.2. FASE II. PONDERAR LA EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO EN LODOS RESIDUALES DE INDUSTRIAS PESQUERAS CON BASE EN COMPOSTAJE**

### **Actividad 3. Realizar el análisis de variación de los resultados en los datos obtenidos de DBO<sub>5</sub>/DQO con los distintos tratamientos**

Los parámetros analizados mostraron que existen variaciones entre los 4 tratamientos. Los resultados de los 12 experimentos se presentan en el cuadro 4.2. Los niveles de pH oscilaron entre 7,66 y 8,87 en los diferentes experimentos. Estos niveles difieren relativamente de los resultados obtenidos de una serie de informes técnicos del Grupo "Derechos Fundamentales, Derechos de los Ciudadanos y Libre Circulación de Personas (FREMP, 1994) sobre cuatro industrias pesqueras de la Columbia Británica que presentan pH en el rango de 5,7 a 7,4 (pH promedio de 6,48). Sin embargo, existe una relación aproximada entre los niveles encontrados en este estudio con los niveles comprendidos por las directrices de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) para efluentes del procesamiento pesquero, donde establecen que el pH para este tipo de actividades oscila entre 6-9.

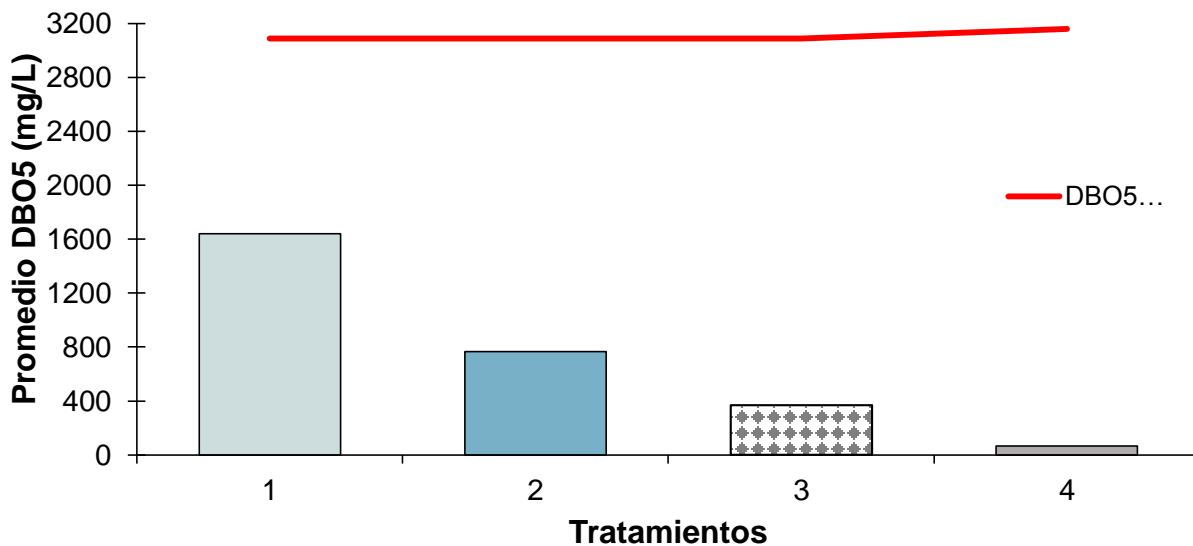
Por otra parte, se encontró que las variaciones de la DBO<sub>5</sub> de los lodos residuales varían entre 1250 mg/dm<sup>3</sup> aproximadamente entre la muestra inicial y el tratamiento 1, asimismo entre el tratamiento 1 y 2. Por otra parte, el tratamiento 3 presentó niveles con una diferencia aproximada de 950 mg/dm<sup>3</sup> en relación al tratamiento 2 y el tratamiento 4 registró una diferencia aproximada de 550 mg/dm<sup>3</sup> en relación al tratamiento 3. La DBO<sub>5</sub> presentó asimismo variaciones de 1500 mg/dm<sup>3</sup> aproximadamente entre el tratamiento 1 y la muestra inicial. Sin embargo, el tratamiento 2 presentó niveles con una diferencia aproximada de 900 mg/dm<sup>3</sup> en relación al tratamiento 1. Finalmente, para los tratamientos 3 (concentración al 8%) y tratamiento 4 (concentración al 10%) se registró niveles de DBO<sub>5</sub> con una diferencia aproximada de 400 mg/dm<sup>3</sup> y 300 mg/dm<sup>3</sup>, respectivamente. Para ambos parámetros, los resultados de las repeticiones se encuentran altamente ajustadas; indicando que se descarta errores de equipos o procedimientos.

**Cuadro 4.3.** Condiciones finales de los parámetros físico-químicos analizados de lodos residuales.

Unidad Experimental	pH	Temperatura °C	Conductividad (mS/cm)	DBO <sub>5</sub> mg/dm <sup>3</sup>	DQO mg/dm <sup>3</sup>
T1R1	8,72	25,4	13,02	1653	3071
T1R2	8,63	25,4	12,98	1639	2912
T1R3	8,87	25,4	13,05	1628	2897
T2R1	8,47	25,5	11,79	786	1707
T2R2	8,45	25,5	11,94	742	1725
T2R3	8,47	25,5	11,83	767	1712
T3R1	7,87	25,5	9,02	357	789
T3R2	7,92	25,5	9,03	388	746
T3R3	7,83	25,5	8,97	361	758
T4R1	7,65	25,5	8,51	71	221
T4R2	7,71	25,5	8,65	68	196
T4R3	7,66	25,5	8,59	66	207

Fuente: Los autores

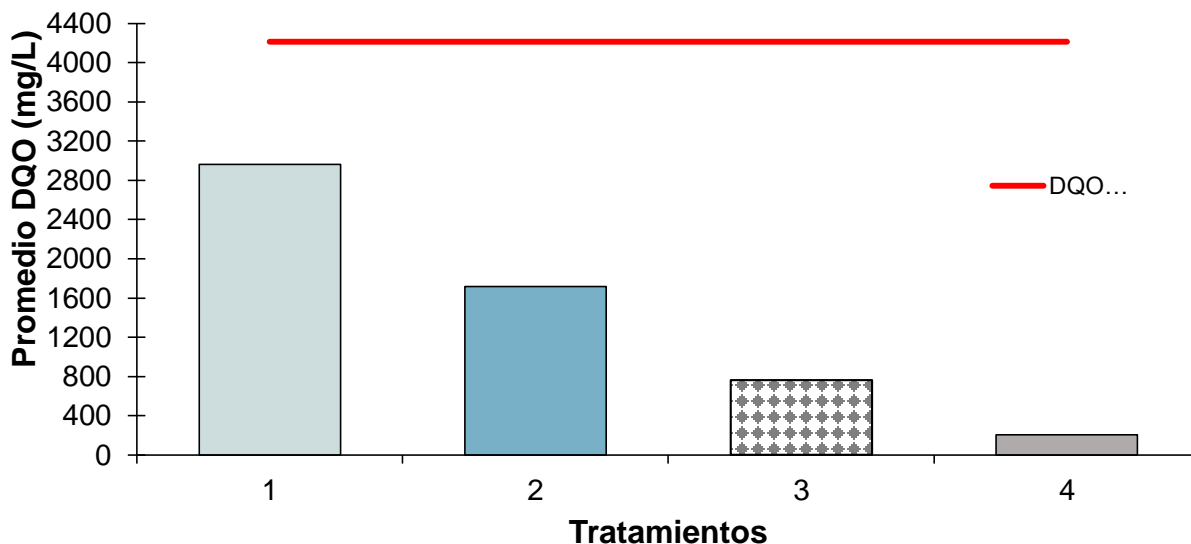
En el gráfico 4.2 se muestran las concentraciones promedio de DBO<sub>5</sub> en los cuatro diferentes tratamientos. Las concentraciones variaron de 68,33 a 1640 mg/dm<sup>3</sup>; contrastando con los resultados obtenidos por Muthukumaran y Baskaran (2013), quienes evaluaron el efluente final del procesamiento de calamares y vieiras y encontraron concentraciones aproximadas de DBO<sub>5</sub> de 3000 mg/dm<sup>3</sup>; y para Moreira, Marinho, Cammarota, y Guimarães (2010), que estudiaron el efluente de una industria de conservas de pescado, encontrando una DBO<sub>5</sub> igual a 2860 mg/dm<sup>3</sup>. El tratamiento 4 presentó el mayor % de remoción de DBO<sub>5</sub> (97,79%), luego el tratamiento 3 con una remoción de 88,06%, el tratamiento 2 con el 75,22% de remoción y finalmente el tratamiento 1 con la remoción más baja (46,87%).



**Gráfico 4.2.** Promedio de la DBO<sub>5</sub> en los cuatro tratamientos aplicados

**Fuente:** Los autores

De acuerdo al gráfico 4.3, las variaciones de la DQO en los diferentes tratamientos fluctuaron desde 208 mg/dm<sup>3</sup> hasta 2960 mg/dm<sup>3</sup>. El tratamiento 4 registró la mayor remoción de DQO (95,06%). El tratamiento 3 tuvo una remoción de la DQO de hasta el 81,86%; el tratamiento 2 presentó remoción de DQO hasta el 59,3%. Finalmente, el tratamiento 1 tuvo una eficiencia menor de 29,74%. Esto contrasta con los resultados de Cristovão *et al.* (2012) quienes en su caracterización de residuales de industrias pesqueras encontraron niveles de DQO de  $1967 \pm 26$  mg/dm<sup>3</sup>, sobre todo por actividades continuas como el lavado de pescado que contiene materiales contaminantes orgánicos que se acumulan en los cuerpos receptores.



**Gráfico 4.3.** Promedio de la DQO en los cuatro tratamientos aplicados

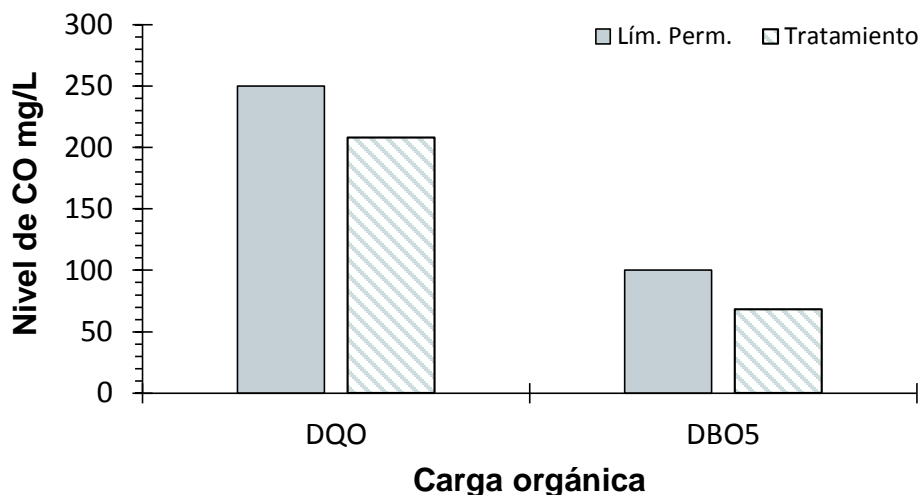
Fuente: Los autores

#### **Actividad 4. Contrastar los datos de los análisis post tratamiento de DBO<sub>5</sub>/DQO con la normativa ambiental aplicable**

En el tratamiento inicial, se obtuvo como resultados las concentraciones para la DBO<sub>5</sub> y DQO de hasta 1640 mg/dm<sup>3</sup> y 2960 mg/dm<sup>3</sup>, respectivamente. Esto, según Cristóvão *et al.* (2015) es característico en lodos residuales de efluentes producidos en la industria procesadora de pescado. Desde el tratamiento 1 hasta el tratamiento 3, ninguno de los parámetros analizados (DBO<sub>5</sub> y DQO) se encuentran ajustados con algunas regulaciones establecidas por la normativa ecuatoriana aplicable para la calidad; 100 mg/dm<sup>3</sup> y 250 mg/dm<sup>3</sup>, respectivamente (TULSMA, 2015); lo que concuerda con Ferraciolli, Luiz y Naval (2017) que en un estudio similar encontraron reducciones de los niveles de DBO<sub>5</sub>, a pesar de esto, no se encontraban ajustados a las regulaciones de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA, 2012) quien establece un nivel de DBO<sub>5</sub> ≤ 30 mg/dm<sup>3</sup>. Sin embargo, el tratamiento 4 presenta resultados más óptimos para DBO<sub>5</sub> (68,33 mg/dm<sup>3</sup>) y DQO (208 mg/dm<sup>3</sup>); siendo éste el tratamiento más eficiente del estudio y al mismo tiempo permitiendo que ambos parámetros se encuentren



enmarcados a los límites máximos permisibles establecidos en las regulaciones ambientales nacionales (ver gráfico 4.4).

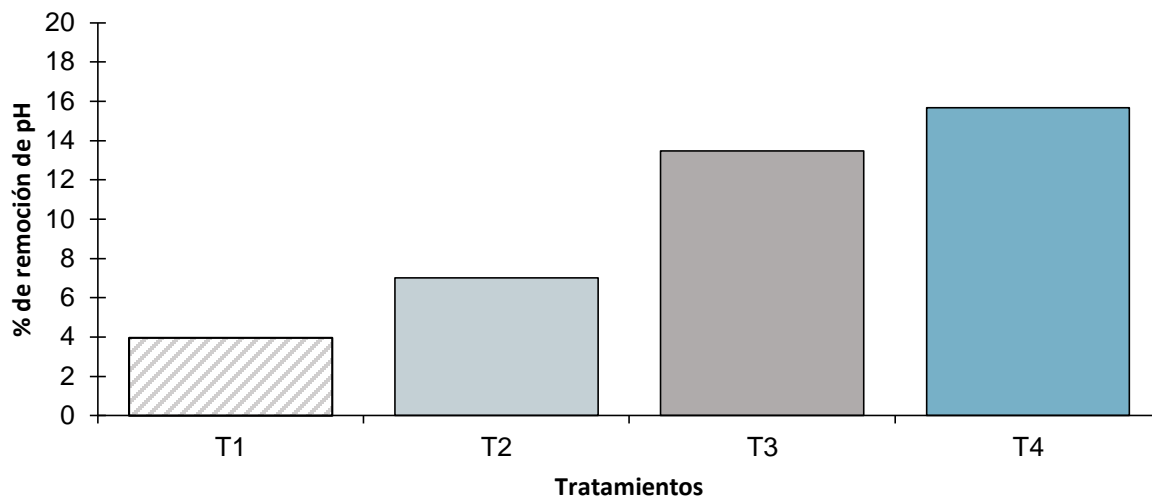


**Gráfico 4.4.** Comparación de los niveles de DBO<sub>5</sub> y DQO iniciales y finales de lodos residuales con los límites máximos establecidos en la normativa ecuatoriana (TULSMA, 2015)

**Fuente:** Los autores

### Actividad 5. Remoción de DBO<sub>5</sub> y DQO

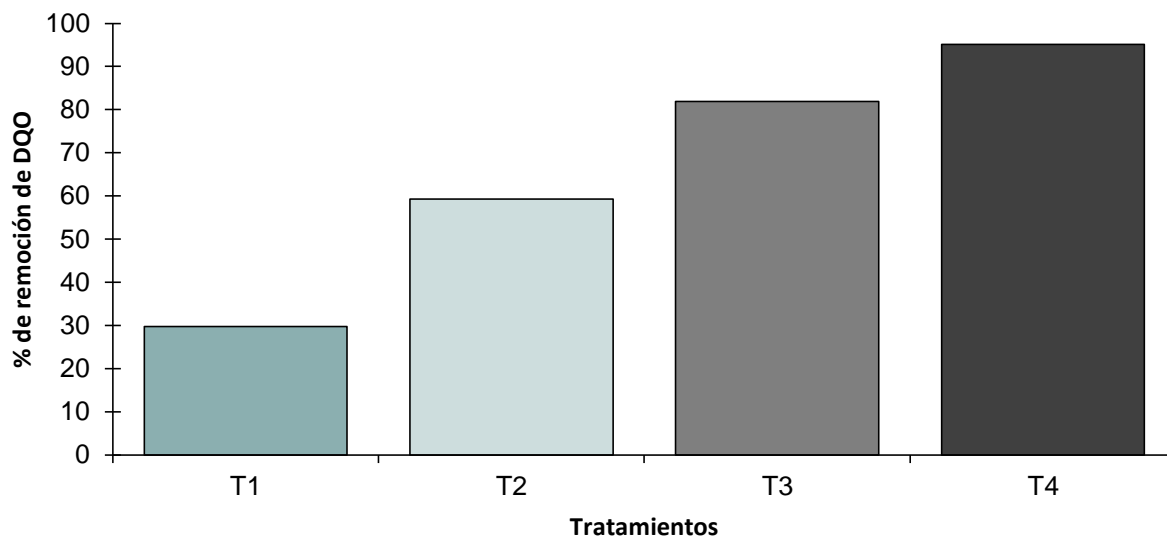
En el gráfico 4.5 se muestran las diferencias de pH a través de los experimentos. Para este caso la remoción fue poco significativa; esto se debe a que el pH inicial era alcalino y a través de los tratamientos lo máximo que redujo fue 1,43 quedando en 7,67 el más eficiente. De acuerdo a Sunny y Mathai (2015) este nivel se encuentra muy ajustado a sus hallazgos (pH 7,2–7,6). Las variaciones del pH para este caso fueron desde 7,87 hasta 8,74. Los resultados de eliminación de DQO y DBO<sub>5</sub> se presentan en los gráficos 4.6 y 4.7.



**Gráfico 4.5.** Niveles de pH en los diferentes tratamientos

**Fuente:** Los autores

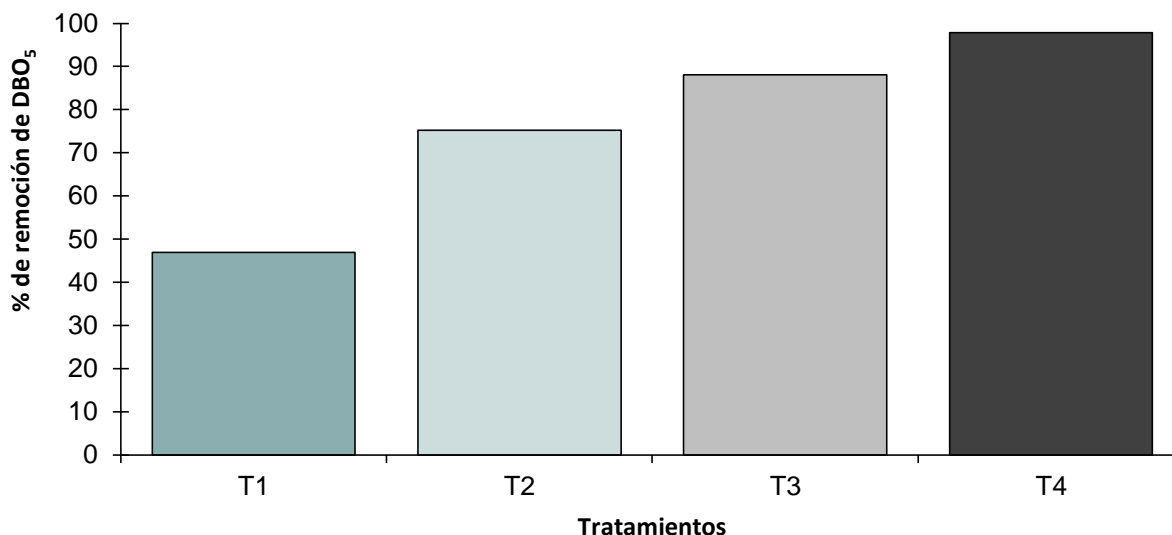
La mayor reducción de DQO (95,06%) se obtuvo para los lodos residuales de industrias pesqueras en el tratamiento 4 (concentración del 10% de microorganismos eficientes). Al aumentar la concentración, también aumentó el % de remoción (gráfico 4.6). La tasa de carga más alta en la que el sistema aún mantuvo su eficiencia de conversión (29,74% de reducción de DQO) fue de 2960 mg/dm<sup>3</sup> de DQO. La reducción de la DQO se duplicó prácticamente en el segundo tratamiento hasta un 59,30%, lo que coincide con Chowdhury, Viraraghavan y Srinivasan (2010) que en sus hallazgos encontraron que la reducción de la DQO se mantuvo en un 60%, con una tasa de 1,67 kg de DQO/m<sup>3</sup> por día y luego disminuyó bruscamente.



**Gráfico 4.6.** Porcentaje de remoción de DQO en los cuatro tratamientos

**Fuente:** Los autores

Los resultados de remoción de  $DBO_5$  también son óptimos en comparación con los valores iniciales. Como en el caso anterior, también el tratamiento 4 tuvo una mayor eficiencia en la remoción de  $DBO_5$ ; alcanzando hasta el 97,79% de remoción. Estos hallazgos encuentran relación con lo establecido por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA, 2000) quien propone que el proceso de lodos también es capaz de reducir la  $DBO_5$  y los sólidos suspendidos en un 70-90%. Asimismo, este tratamiento ha alcanzado una alta eficiencia, similar a tratamientos como lagunas aireadas que pueden lograr una mayor eficiencia de remoción de  $DBO_5$  (aproximadamente 90-95%) para el procesamiento de residuales de industrias pesqueras (Parvathy *et al.*, 2017).



**Gráfico 4.7.** Porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub> en los cuatro tratamientos

**Fuente:** Los autores

### **Actividad 6. Establecer una medida de utilidad para el compost producido en función de los resultados obtenidos**

Se desarrolló una muestra de compost donde se aplicó los lodos residuales con la dosis del mejor tratamiento (reemplazando el estiércol bovino). Se llevó a laboratorio y se analizó los parámetros físicos-químicos para verificar sus condiciones. Los parámetros de DQO y DBO<sub>5</sub> también permanecían ajustados a la normativa ambiental aplicable (TULSMA, 2015) la significancia entre la eficiencia de remoción si es significativa. Estos resultados coinciden con lo encontrado por Gutiérrez, Serrano, Siles, Chica y Martín (2017) quienes obtuvieron valores óptimos para ambos parámetros. Se infiere a que la eficiencia de remoción de DQO y DBO<sub>5</sub> en el proceso de compostaje. En el cuadro 4.5 se muestran los resultados.

**Cuadro 4.4.** Resultados de compost producido a base de lodos tratados

Parámetro	Unidad de medida	Resultado
pH	---	7,21
Temperatura	°C	25,2
Conductividad	ms	11,07

Color	pt/co (hz)	10/100 255
DQO	mg/dm <sup>3</sup>	203
DBO <sub>5</sub>	mg/dm <sup>3</sup>	63
Textura	---	15,2% arcilla 34,8% limo 50% arena
Densidad	cm <sup>3</sup>	Franco 15

### Actividad 7. Aplicar una prueba estadística para comprobar la eficiencia de los microorganismos para reducir los niveles de DBO<sub>5</sub>/DQO

La importancia de cada coeficiente se determinó a través de una prueba de valor de p, considerando un 95% de confianza, en la que los valores de p bajos ( $p < 0,05$ ) indican una importancia alta del coeficiente correspondiente. En el ANOVA se muestra el efecto estadísticamente relevante de cada factor en la respuesta; siendo un modo práctico para ver los resultados (cuadro 4.4). Ambas variables (DBO<sub>5</sub> y DQO) presentan un valor de  $p < 0,05$ ; lo que considera estadísticamente significativos. Por lo tanto, se acepta la hipótesis establecida en el estudio.

**Cuadro 4.5.** Eficiencia de remoción de los tratamientos (Comprobación de hipótesis)

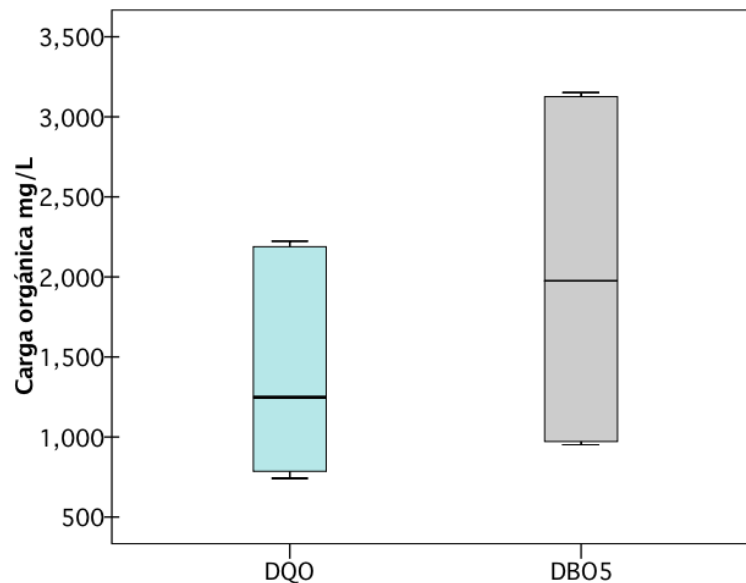
Unidad Experimental		Suma de cuadrados	df	Cuadrado medio	F	Sig
DBO <sub>5</sub>	Entre grupos	4188505,667	3	1396168,556	5975,044	0,000
	Dentro de los grupos	1869,333	8	233,667		
	Total	4190375,000	11			
DQO	Entre grupos	13070996,917	3	4356998,972	1737,125	0,000
	Dentro de los grupos	20065,333	8	2508,167		
	Total	13091062,250	11			

**Fuente:** Los autores

Por su parte, Najafpour *et al.* (2006) estudiaron el tratamiento de lodos residuales de una industria de conservas de pescado mediante un reactor biológico rotativo que alcanzó entre el 85 y el 98% de la eliminación de DQO. Los autores Lim, Kim y Hwang (2003) también estudiaron el tratamiento de lodos residuales de procesamiento de pescado, pero con un cultivo de *Candida rugopelliculosa* y *Brachionus plicatilis*. Sin embargo, la reducción máxima de la concentración de la DQO soluble influyente fue del 70%, inferior

a los hallazgos de este estudio. La comparación de los resultados de estos estudios con la eliminación óptima obtenida en este trabajo, permite confirmar la viabilidad y la confiabilidad del tratamiento de lodos residuales en industrias pesqueras mediante microorganismos eficientes para la eliminación del contenido orgánico.

Finalmente, en el gráfico 4.8 se muestra que la  $DBO_5$  tuvo una mayor eficiencia que la DQO en los cuatro tratamientos. Los lodos residuales tratados también presentaron indicadores de que habían sido eficientes al momento de percibir que los olores no eran tan intensos como las muestras iniciales, sin tratamiento; lo cual le hicieron factible para su reutilización en procesos de bio abonos para los suelos.



**Gráfico 4.8.** Diagrama de cajas de la  $DBO_5$  y DQO en los distintos tratamientos

**Fuente:** Los autores

# **CAPÍTULO V. CONSLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **5.1. CONSLUSIONES**

- La dosis de microorganismos eficientes al 10% presentó mejores resultados en cuanto a la remoción de DBO<sub>5</sub> y DQO; alcanzando una remoción de 97,78% para la DBO<sub>5</sub> y 95,06% para la DQO.
- La eficiencia de los tratamientos fue altamente significativa y los valores de los parámetros analizados se encuentran ajustados a la normativa ambiental aplicable (TULSMA, 2015); lo que indica que los lodos residuales de las industrias pesqueras pueden ser tratados eficientemente mediante biooxidación con el biopreparado de microorganismos eficientes para reducir los impactos ambientales a los cuerpos receptores locales.
- Los lodos residuales procedentes de industrias pesqueras pueden ser reutilizados post tratamiento con microorganismos eficientes para la producción de compost debido a que los parámetros de pH, DBO<sub>5</sub>, DQO y conductividad se ajustaron a estándares de calidad, una vez transformado a compost.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- Socializar los resultados a las empresas pesqueras para que puedan tomar medidas correctivas ante los impactos generados por sus actividades productivas.
- Realizar otras pruebas con los microorganismos eficientes aplicados en otro tipo de residual para comprobar si su eficiencia coincide con las presentada en este estudio.
- Desarrollar experimentos similares aplicando otro tipo de concentraciones para fomentar el uso de compost a base de lodos tratados con microorganismos eficientes para que la degradación del ambiente sea menor por consecuencia de la inadecuada disposición de los mismos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Achour, M., Khelifi, O., Bouazizi, I., & Hamdi, M. (2000). Design of an integrated bioprocess for the treatment of tuna processing liquid effluents. *Process Biochemistry*, 35(9), 1013-1017.
- Aloui, F., Khoufi, S; Loukil, S; Sayadi, S. (2009). Performances of an activated sludge process for the treatment of fish processing saline wastewater. *Desalination*. Vol 246(1-3). p 389-396.
- Bassin, J., Pronk, M., Muyzer, G., Kleerebezem, R., Dezotti, M., y Van Loosdrecht, M. C. M. (2011). Effect of elevated salt concentrations on the aerobic granular sludge process: linking microbial activity with the microbial community structure. *Applied and environmental microbiology*, AEM-05016.
- Barclay, K. (2010). Impacts of tuna industries on coastal communities in Pacific Island countries. *Marine Policy*, 34(3), 406-413.
- Carawan, R; Chambers, J; Zall, J. (2009). *Seafood Water and Wastewater Management*. North Carolina Agricultural Extension Services, Raleigh, NC.
- Carawan, R. E. (1991). Processing plant waste management guidelines for aquatic fishery products. (En línea). Consultado 12 de noviembre de 2018. Formato PDF. Disponible en: <http://www.p2pays.org>.
- Carawan, R. E., Jones, V. A., & Hansen, A. P. (1979). Wastewater Characterization in a Multiproduct Dairy1. *Journal of Dairy Science*, 62(8), 1243-1251.
- Ching, Y. C., & Redzwan, G. (2017). Biological Treatment of Fish Processing Saline Wastewater for Reuse as Liquid Fertilizer. *Sustainability*, 9(7), 1062.
- Chowdhury, P., Viraraghavan, T., y Srinivasan, A. (2010). Biological treatment processes for fish processing wastewater—A review. *Bioresource technology*, 101(2), 439-449.



- Cieślik, B. M., Namieśnik, J., y Konieczka, P. (2015). Review of sewage sludge management: standards, regulations and analytical methods. *Journal of Cleaner Production*, 90, 1-15.
- Coronado Cuadros, N. (2018). Análisis temporal de parámetros físico-químicos de calidad de efluentes en establecimientos industriales pesqueros-Bahía del Callao (Período 2012-2016).
- Cristóvão, R; Gonçalves, C; Botelho, C; Martins, R; Boaventura, R. (2014). Chemical oxidation of fish canning wastewater by Fenton's reagent. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. Vol 2(4). p 2372-2376.
- Cristóvão, R., Botelho, C., Martins, R., Loureiro, J., y Boaventura, R. (2015). Fish canning industry wastewater treatment for water reuse—a case study. *Journal of Cleaner Production*, 87, 603-612.
- Cristóvão, R. O., Gonçalves, C., Botelho, C. M., Martins, R. J., Loureiro, J. M., & Boaventura, R. A. (2015). Fish canning wastewater treatment by activated sludge: Application of factorial design optimization: Biological treatment by activated sludge of fish canning wastewater. *Water Resources and Industry*, 10, 29-38.
- Cristovão, R., Botelho, C., Martins, R., & Boaventura, R. (2012). Chemical and biological treatment of fish canning wastewaters. *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*, 2, 237-242.
- Dai, H., Chen, W., & Lu, X. (2016). The application of multi-objective optimization method for activated sludge process: a review. *Water Science and Technology*, 73(2), 223-235.
- Darajeh, N., Idris, A., Masoumi, H., Nourani, A., Truong, P., & Sairi, N. A. (2016). Modeling BOD and COD removal from Palm Oil Mill Secondary Effluent in floating wetland by *Chrysopogon zizanioides* (L.) using response surface methodology. *Journal of environmental management*, 181, 343-352.

- Diver, S. 2001. Nature Farming and Effective Microorganisms', Rhizosphere II: Publications, Resource Lists and Web Links from Steve Diver, <http://ncatark.uark.edu/~steved/Nature-Farm-EM.html>
- EPA (Agencia de Protección Ambiental). 2008. Electronic code of federal regulations (e-CFR), Parts 400-424. US, Washington, DC.
- EPA. 2012. Guidelines for Water Reuse Washington, D. C. (En línea). Consultado 9 de noviembre de 2018. Formato PDF. Disponible en: <https://www3.epa.gov>.
- Ferraciolli, L., Luiz, D., y Naval, L. (2017). Potential for reuse of effluent from fish-processing industries. *Revista Ambiente & Água*, 12(5), 730-742.
- Forbis, A. A., Rocha, L., & Deshusses, M. A. (2018). Nitrifying trickling filters and denitrifying bioreactors for nitrogen management of high-strength anaerobic digestion effluent. *Chemosphere*, 204, 119-129.
- Füleky, G., & Benedek, S. (2010). Composting to recycle biowaste. In *Sociology, organic farming, climate change and soil science* (pp. 319-346). Springer, Dordrecht.
- Fytili, D., & Zabaniotou, A. (2008). Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods—a review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 12(1), 116-140.
- Gaind, S. (2014). Effect of fungal consortium and animal manure amendments on phosphorus fractions of paddy-straw compost. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 94, 90-97.
- Gil, A., Toledo, M., Siles, J. A., & Martín, M. A. (2018). Multivariate analysis and biodegradability test to evaluate different organic wastes for biological treatments: Anaerobic co-digestion and co-composting. *Waste Management*, 78, 819-828.
- Guo, J; Peng, Y; Ni, B; Han, X; Fan, L; Yuan, Z. 2015. Dissecting microbial community structure and methane-producing pathways of a full-scale anaerobic reactor

digesting activated sludge from wastewater treatment by metagenomic sequencing. *Microbial cell factories*. Vol 14(1). p 33.

Gutiérrez, M. C., Serrano, A., Siles, J. A., Chica, A. F., & Martín, M. A. (2017). Centralized management of sewage sludge and agro-industrial waste through co-composting. *Journal of environmental management*, 196, 387-393.

Hall, J. E. (1995). Sewage sludge production, treatment and disposal in the European Union. *Water and Environment Journal*, 9(4), 335-343.

INEN (Servicio Ecuatoriano de Normalización). 2018. 17 laboratorios del país forman parte de la Red Ecuatoriana de Metrología. Quito, ECU. Consultado 18 de septiembre de 2018. Formato HTML. Disponible en: <http://www.normalizacion.gob.ec>.

Iacovidou, E; Voulvoulis, N. 2017. The potential anaerobic-aerobic treatment of increased strength wastewater as a result of the use of food waste disposal units. (En línea). Formato PDF. Disponible en: <https://cest.gnest.org>

Jamieson, B; Gagnon, G; Gonçalves, A. 2017. Physicochemical characterization of Atlantic Canadian seafood processing plant effluent. *Marine pollution bulletin*. Vol 116(1). p 137-142.

Jennings, S; Stentiford, G; Leocadio, A; Jeffery, K; Metcalfe, J; Katsiadaki, I; Peeler, E. 2016. Aquatic food security: insights into challenges and solutions from an analysis of interactions between fisheries, aquaculture, food safety, human health, fish and human welfare, economy and environment. *Fish and Fisheries*. Vol 17(4), 893-938.

Kamali, M; Gameiro, T; Costa, M; Capela, I. 2016. Anaerobic digestion of pulp and paper mill wastes—An overview of the developments and improvement opportunities. *Chemical Engineering Journal*. Vol 298. p 162-182.

- Karadag, D; Köroğlu, O; Ozkaya, B; Cakmakci, M. 2015. A review on anaerobic biofilm reactors for the treatment of dairy industry wastewater. *Process Biochemistry*. Vol 50(2). p 262-271.
- Kartal, B., Kuenen, J.G., van Loosdrecht, M. 2010. Sewage treatment with anammox. *Science* 328, 702e703.
- Karthikeyan, R; Selvam, A; Cheng, K; Wong, J. 2016. Influence of ionic conductivity in bioelectricity production from saline domestic sewage sludge in microbial fuel cells. *Bioresource technology*. Vol 200. p 845-852.
- Koch, K., Helmreich, B; Drewes, J. 2015. Co-digestion of food waste in municipal wastewater treatment plants: effect of different mixtures on methane yield and hydrolysis rate constant. *Applied Energy*. Vol 137. p 250-255.
- Kornaros, M; Lyberatos, G. 2006. Biological treatment of wastewaters from a dye manufacturing company using a trickling filter. *Journal of Hazardous Materials*, 136(1), 95-102.
- Leal, J; Panta, C; Ferrín, A; Cabo, P; Rodríguez, L. 2015. Tratamiento de aguas residuales de una industria procesadora de pescado en reactores anaeróbicos discontinuos. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*. Vol 25(1). p 27.
- Lefebvre, O; Moletta, R. 2006. Treatment of organic pollution in industrial saline wastewater: a review. *Water Res.* 40, 3671–3682.
- Lim, J., Kim, T., Y Hwang, S. (2003). Treatment of fish-processing wastewater by co-culture of *Candida rugopelliculosa* and *Brachionus plicatilis*. *Water Research*, 37(9), 2228-2232.
- MAE (Ministerio de Ambiente Ecuador). (2017). Las descargas de aguas residuales son controladas por el Ministerio del Ambiente. (En línea). Consultado 18 de septiembre de 2018. Formato HTML. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec>.

- Majumder, D; Balapgol, B. 2016. Waste Stabilization and Treatment of MSW by using Gomutra. Carbon. Vol 3(7).
- Marín, J., Chinga, C., Velásquez, A. I., González, P., y Zambrano, L. (2015). Tratamiento de aguas residuales de una industria procesadora de pescado en reactores anaeróbicos discontinuos. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(1).
- Monsalvo, V. (2015). *Efficient management of wastewater from manufacturing: new treatment technologies*. CRC Press.
- Moreira, V., Marinho, A., Cammarota, M., y Guimarães, F. (2010). Pré-hidrólise enzimática da gordura de efluente da indústria de pescado objetivando o aumento da produção de metano. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 30(2).
- Moretti, S. M. L., Bertoncini, E. I., & Abreu, C. H. (2015). Composting sewage sludge with green waste from tree pruning. *Scientia Agricola*, 72(5), 432-439.
- Muthukumar, S., & Baskaran, K. (2013). Organic and nutrient reduction in a fish processing facility—a case study. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 85, 563-570.
- Najafpour, G. D., Zinatizadeh, A. A. L., & Lee, L. K. (2006). Performance of a three-stage aerobic RBC reactor in food canning wastewater treatment. *Biochemical engineering journal*, 30(3), 297-302.
- Namsivayam, S; Narendrakumar, G; Kumar, J. 2014. Evaluation of Effective Microorganism (EM) for treatment of domestic sewage. *Journal of Experimental Sciences*. Vol 2(7).
- Nges, I; Mbatia, B; Bjornsson, L. 2012. Improved utilization of € fish waste by anaerobic digestion following omega-3 fatty acids extraction. *J. Environ. Manag.* 110, 159e165.
- Noguerol, J., Rodríguez, A., Romero, E., & Flotats, X. (2012). Determination of chemical oxygen demand in heterogeneous solid or semisolid samples using a novel

- method combining solid dilutions as a preparation step followed by optimized closed reflux and colorimetric measurement. *Analytical chemistry*, 84(13), 5548-5555.
- Palenzuela, A; Zeeman, G; Lubberding, H. Lettinga, G; Alaerts, G. 2012. Treatment of fish processing wastewater in a one- or two-step upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. *Water Sci. Technol.* Vol 45 (10). p 207–212.
- Parvathy, U., Rao, K. H., Jeyakumari, A., & Zynudheen, A. A. (2017). Biological Treatment Systems for Fish Processing Wastewater-A Review. *Nature Environment and Pollution Technology*, 16(2), 447.
- Pushpa, T; Sekaran, V; Basha, S; Jegan, J. 2016. Investigation on preparation, characterization and application of effective microorganisms (EM) based composts-an ecofriendly solution. *Nature Environment and Pollution Technology*. Vol 15(1). p 153.
- Ribeiro, R. P., da Mota Oliveira, J. L., Kligerman, D. C., Alvim, R. B., Andrade, S. A., de Almeida, P. A., & de Mello, W. Z. (2015). Controlling factors of nitrous oxide emissions from a conventional activated sludge wastewater treatment plant. *Engevista*, 17(3), 375-384.
- Shammas, N. K., & Wang, L. K. (2009). Biosolids composting. In *Biological Treatment Processes* (pp. 669-714). Humana Press, Totowa, NJ.
- Shilev, S., Naydenov, M., Vancheva, V., & Aladjadjyan, A. (2007). Composting of food and agricultural wastes. In *Utilization of By-Products and Treatment of Waste in the Food Industry* (pp. 283-301). Springer, Boston, MA.
- Sunny, N., & Mathai, L. (2015). Physicochemical process for fish processing wastewater. *Efficient Management of Wastewater from Manufacturing: New Treatment Technologies*, 113.
- Tchobanoglous, G., & Burton, F. L. (1979). *Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse* (pp. 146-148). New York, NY: McGraw-Hill.

- Technical Report Series FREMP WQWM-93-10, DOE FRAP 1993-39, 1994. Wastewater Characterization of Fish Processing Plant Effluents. Fraser River Estuary Management Program. New West Minister, B. C.
- Veiga, M. C., Méndez, R., & Lema, J. M. (1994). Waste water treatment for fisheries operations. In *Fisheries Processing* (pp. 344-369). Springer, Boston, MA.
- Xu, L; Zhao, Y; Doherty, L; Hu, Y; Hao, X. 2016. The integrated processes for wastewater treatment based on the principle of microbial fuel cells: a review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. Vol 46(1). p 60-91.
- Yang, G; Zhang, G; Wang, H. 2015. Current state of sludge production, management, treatment and disposal in China. *Water research*. Vol 78. p 60-73.
- Zhang, J; Tong, J; Liu, J; Liu, J; Yu, D; Wei, Y. 2016. Optimization and microbial community analysis of anaerobic co-digestion of food waste and sewage sludge based on microwave pretreatment. *Bioresource technology*. Vol 200 (253-261).
- Zhao, K; Zhang, Y; Zhang, Y; Yin, Y. 2014. Study on Rapid High-Efficient Composting Process of Sewage Sludge. In *Advanced Materials Research*. Vol. 955, p. 2940-2943.

## **ANEXOS**



**Anexo. 1.** Preparación de los equipos



**Anexo. 4.** Proceso de dilución de las muestras de lodos



**Anexo. 2.** Diferentes muestras a analizar de lodos residuales



**Anexo. 5.** Medición de pH



**Anexo. 3.** Dilución de las muestras



**Anexo. 6.** Medición de conductividad



**Anexo. 7.** Preparación de muestras para la medición de DQO



**Anexo. 9.** Análisis de DQO



**Anexo. 8.** Análisis de DBO<sub>5</sub>

