



**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“APLICACIÓN DEL MÉTODO DE ELECTROCOAGULACIÓN  
PARA TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE INDUSTRIAS  
PESQUERAS-BAHÍA DEL CALLAO”**

Tesis para optar el título profesional de:

**INGENIERA AMBIENTAL**

Presentado por:

Katherine Judith Carrera Arutinco (0000-0003-4508-7229)

Marilyn Cristina Falcón Llacctas (0000-0002-1893-2709)

Asesor:

Olga Vadimovna Kostenko De Caparo (0000-0001-8895-8982)

Lima – Perú

2022

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Lima, 09 de septiembre del 2022.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Dra. Ing. Sara Regina Purca Cuicapusa
Miembro: Mg. Blga. Catherine Mariela Coronado León
Miembro: Mg. Ing. Jimmy Castillo Becerra

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:

**"APLICACIÓN DEL MÉTODO DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE INDUSTRIAS PESQUERAS-BAHÍA DEL CALLAO"**

Presentada por la/el estudiante/bachiller:

- Katherine Judith Carrera Arutinco
- Marilyn Cristina Falcón Llacctas

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesorado por: Mg. Olga Vadimovna Kostenko

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño de las estudiantes de la carrera de Ingeniería Ambiental en la sustentación, concluyen de manera unánime (X) por mayoría simple ( ) calificar a:

Tesis: Katherine Judith Carrera Arutinco & Marilyn Cristina Falcón Llacctas		Nota (en letras): (DIECISEIS) 16	
Aprobado ( )	Aprobado - Muy buena ( X )	Aprobado Sobresaliente ( )	Desaprobado ( )

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



**Dra. Ing. Sara Regina Purca Cuicapusa**  
Presidente



**Mg. Blga. Catherine Mariela Coronado León**  
Miembro 1



**Mg. Ing. Jimmy Castillo Becerra**  
Miembro 2



**Mg. Olga Vadimovna Kostenko**  
Asesor

T // (51) 610 6738  
informes@cientifica.edu.pe  
cientifica.edu.pe

**ANEXO: FORMATO DE DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

**UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR**

**DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS / TRABAJO DE INVESTIGACIÓN<sup>1</sup>**

Lima, 14 de enero del 2023

Señor,

**Director General de Investigación, Desarrollo e Innovación  
Universidad Científica del Sur  
Presente.** –

De nuestra consideración,

Yo: (Katherine Judith Carrera Arutenco y Marilyn Cristina Falcon LLacctas), estudiante/egresado de la carrera de (Ingeniería Ambiental) de la Universidad Científica del Sur, en conjunto con el asesor/la asesora de tesis (Olga Kostenko), declaramos que este informe final de tesis/trabajo de investigación titulado: (Aplicación del método de electrocoagulación para tratamiento de efluentes de industrias pesqueras Bahía del Callao), sustentado para obtener el título/grado de (Ingeniería Ambiental) es original.

Es decir, no contiene plagio parcial ni total, cuando se utilizó información de fuentes externas se reconoció la autoría mediante la adecuada citación y los resultados obtenidos son producto entero de mí (nuestra) investigación y no han sido falseados ni fabricados. Todo esto en cumplimiento del Código de ética en la investigación, Reglamento del Comité de Integridad Científica, Reglamento de Propiedad Intelectual, Normas y procedimientos de los trabajos de investigación para la obtención de títulos profesionales y grados académicos<sup>2</sup>, que afirmamos conocer en su totalidad.

Por ello, en caso de identificarse alguna situación de plagio, falsificación o fabricación de resultados, nos allanamos al proceso de investigación que establezca la Universidad y las posibles sanciones que pudieran surgir.

Firmamos en conformidad con lo declarado,



**Firma tesista  
Carrera Arutenco  
Katherine Judith  
DNI: 76672743**



**Firma del asesor de tesis  
Olga Kostenko  
DNI:10796382**



**Firma tesista  
Falcon LLacctas  
Marilyn Cristina  
DNI: 76229795**

<sup>1</sup> En conformidad con la Resolución del Consejo Directivo N° 084-2022-SUNEDU/CD

<sup>2</sup> Los documentos están en: <https://investigacion.cientifica.edu.pe/reqlamentos/>

## INFORME DE REVISIÓN DE ORIGINALIDAD

**Título del documento evaluado.** Aplicación del método de electrocoagulación para tratamiento de efluentes de industrias pesqueras-Bahía del Callao

**Autores.** Katherine Judith Carrera Arutinco; Marilyn Cristina Falcón Llacctas.

**Mecanismo de revisión de originalidad.** Evaluación con Turnitin (ID 1995518851).

**Resultado de la evaluación.** 8%

**Revisado por.** Magaly Kelly Guerrero Huaracallo.

**Comentarios sobre la revisión.** Filtros usados: excluir fuentes de menos de 12 palabras.

### Aplicación del método de electrocoagulación

#### INFORME DE ORIGINALIDAD



#### FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	2%
2	www.sgsgroup.com.ar Fuente de Internet	1%
3	revistas.utadeo.edu.co Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unu.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	"El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022", Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2022 Publicación	<1%
6	farmacia.ugr.es Fuente de Internet	<1%
7	dspace.utpl.edu.ec Fuente de Internet	<1%
8	www.aquahoy.com Fuente de Internet	<1%

## **DEDICATORIA**

Esta tesis está dedicada principalmente a Dios, ya que con su ayuda y amor infinito nos ha inspirado y dado fuerzas para poder continuar, levantándonos de cada tropiezo que se presenta, para poder lograr nuestras metas y ser grandes profesionales.

A la familia Falcón Llacctas, por ser un ejemplo en mi vida y por haberme enseñado el valor de la perseverancia y esfuerzo, también por todo el amor infinito, apoyo incondicional, y paciencia que me ha brindado en toda esta etapa tan importante de crecimiento académico. Y a mi padre que siempre me cuida y ayuda cuando lo más lo necesito, desde el cielo.

A la familia Carrera Arutinco, por su amor, comprensión, sacrificio en todos estos años por sacarme adelante, por haberme formado como la persona que soy en la actualidad a través de reglas y libertades para alcanzar mis anhelos y ser el motivo de inspiración para mis hermanos menores y poder superarme y brindarles una mejor calidad de vida por todo lo hecho hacia mi persona.

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestros padres, por su amor infinito, apoyo incondicional, paciencia, esfuerzo y confianza que depositaron sobre nosotras el cual será recompensado con eterna gratitud y admiración.

A nuestra asesora de tesis Quím. Olga Kostenko, quien con su experiencia, conocimiento y paciencia nos guio en el proceso para la elaboración de nuestra tesis.

También a nuestros profesores de nuestra vida universitaria los cuales siempre nos han brindado su apoyo y compartido su experiencia durante todos los ciclos académicos.

Al Ingeniero Hernán Culqui, por facilitarnos los efluentes pesqueros, proporcionarnos su conocimiento y confianza desde el primer momento.

A nuestras amistades, que nos han enseñado lo bonito y difícil que puede ser la vida universitaria y por estar presente en nuestras vidas y ser incondicionales en los buenos y malos momentos.

A la facultad de Ciencias Ambientales por habernos apoyarnos en toda la carrera universitaria, para lograr ser líderes profesionales.

## INDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
INDICE GENERAL .....	5
RESUMEN .....	6
ABSTRACT .....	6
1. INTRODUCCION .....	7
2. METODOLOGIA .....	8
2.1 Area de estudio .....	8
2.2 Evaluacion de parametros fisicoquimicos .....	9
2.3 Diseño y construccion del sistema de electrocoagulacion.....	10
2.4 Evaluacion de la eficiencia del electrocoagulador.....	11
2.5 Analisis estadistico.....	12
3. RESULTADOS.....	13
3.1 Medicion inicial y final de los parametros fisicoquimicos.....	13
3.2 Analisis de DQO.....	14
3.3 Analisis estadistico de datos.....	15
4. DISCUSIONES.....	18
5. CONCLUSIONES.....	22
6. REFERENCIAS.....	23
7. ANEXOS.....	28

## RESUMEN

Las industrias pesqueras son los sectores alimentarios fundamentales e importantes en todo el mundo. Siendo Perú uno de los países con mayor producción de harina y aceite de pescado a nivel mundial. Sin embargo, debido a sus procesos productivos los efluentes causan impactos perjudiciales al medio ambiente.

Esta investigación aplicó el tratamiento de electrocoagulación a las aguas residuales pesqueras para reducir los siguientes parámetros: aceites y grasas (AyG), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos totales (SST), turbidez, conductividad, pH y demanda química de oxígeno. Para ello se diseñó un reactor de material acrílico de medidas de 25 cm de largo, 15 cm de ancho y 14 cm de altura, con un volumen de 2 L. Los efluentes pesqueros de aceite de pescado y harina de pescado fueron sometidos a una densidad de corriente de 5 V y 10 V en los periodos de 5 y 10 min. Los resultados revelaron que se obtuvieron un valor final de 25 mg/L y 18.05 mg/L de AyG, 3156 mg/L y 3297 mg/L de DBO, 284 mg y 220 mg de SST, 7.16 NTU y 1.75 NTU de turbidez, 5197 mg/L y 10056 mg/L de DQO, 17.52 mS/cm y 20 mS/cm de conductividad y 7.51 y 7.32 de pH de efluentes de aceite de pescado y harina de pescado, respectivamente. El método aplicado de electrocoagulación demostró eficiencia y rentabilidad para tratar efluentes provenientes de industrias pesqueras, ya que se observó variación en los parámetros fisicoquímicos evaluados.

**Palabras clave:** Electrocoagulación, industria pesquera, efluentes, aceite de pescado, harina de pescado.



## ABSTRACT

Seafood industries are the fundamental and important food sectors all over the world. Peru being one of the countries with the highest production of fishmeal and fish oil worldwide. However, due to its production processes, effluents cause harmful impacts on the environment.

This research applied electrocoagulation treatment to fishing wastewater to reduce the following parameters: oils and fats (A&G), biochemical oxygen demand (BOD), total suspended solids (TSS), turbidity, conductivity, pH, and chemical oxygen demand. . To do this, a reactor made of acrylic material measuring 25 cm long, 15 cm wide and 14 cm high, with a volume of 2 L, was erected. The fishing effluents of fish oil and fishmeal were subjected to a density of current of 5 V and 10 V in the periods of 5 and 10 min. The results revealed that a final value of 25 mg/L and 18.05 mg/L of AyG, 3156 mg/L and 3297 mg/L of BOD, 284 mg and 220 mg of TSS, 7.16 NTU and 1.75 NTU of turbidity, were acquired. 5197 mg/L and 10056 mg/L COD, 17.52 mS/cm and 20 mS/cm conductivity, and 7.51 and 7.32 pH from fish oil and fishmeal effluents, respectively. The applied electrocoagulation method reduces the efficiency and profitability to treat effluents from fishing industries, since the variation in the evaluated physicochemical parameters will be reduced.

**Keywords:** Electrocoagulation, fishing industry, effluents, fish oil, fishmeal.

## APLICACIÓN DEL MÉTODO DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE INDUSTRIAS PESQUERAS-BAHÍA DEL CALLAO

Katherine Judith Carrera Arutinco<sup>\*</sup>, Marilyn Cristina Falcón Llacctas y Olga Kostenko

Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad Científica del Sur. Lima-Perú

\*Autor de Correspondencia: [180000453@ucientifica.edu.pe](mailto:180000453@ucientifica.edu.pe)

### 1. INTRODUCCIÓN

La producción mundial de harina y aceite de pescado tiene como segundo lugar a países de América como Perú, Chile, Colombia y México, de los cuales en el Perú la bahía del Callao es una de las más importantes en la costa central (OEFA, 2016), debido a que se trabaja con plantas procesadoras de productos hidrobiológicos y se obtienen diversos productos siendo 70% de harina, aceite de pescado (Valenzuela et al., 2012), atún y filetes, (Matienzo et al., 2018); sin embargo, también generan una gran cantidad de aguas residuales (Ancieta, 2014), generando impactos ambientales serios (Reynolds et al., 2022), a la calidad del agua y alterando el equilibrio ecológico (Velasco, 2001). En ese contexto, se han desarrollado diversos tipos de tratamiento de aguas residuales pesqueros, tales como ultrafiltración, sistemas DAF, filtro de arena continua y filtro de carbón, teniendo como principales ventajas la recuperación de lodos, aceites y grasas, teniendo también como desventajas que son tratamientos caros y tienen poca eficiencia para aguas con altos contenido de elementos (Putnam-Duhon et al., 2020). Por otro lado, se aplican otros

tipos de tratamientos de aguas como físico-químicos, físico y biológicos para reducir la contaminación ocasionada (OEFA, 2016).

El proceso de electrocoagulación, que pertenece al método físico - químico, presenta diversas ventajas sobre los demás tratamientos, es de bajo costo, eficiente, amigable con el ecosistema, además es útil para tratar distintas muestras de contaminantes como compuestos orgánicos, metales pesados, aceites y sólidos en suspensión (Graça et al., 2019). Asimismo, es utilizado para los tratamientos de descargas procedentes de diferentes sectores como alimentarias, textiles y mineras (Restrepo, Arango, & Gardes, 2006).

El presente estudio evaluó la eficiencia de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de harina y aceite de pescado provenientes de industrias pesqueras de la Bahía del Callao. La eficiencia se determinó a través de medición de los parámetros físico-químicos como aceites y grasas (AyG), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos totales (SST), turbidez, conductividad, pH y demanda química de oxígeno (DQO) antes y después de aplicación de la electrocoagulación.

## **2. METODOLOGÍA**

### **2.1 Área de estudio**

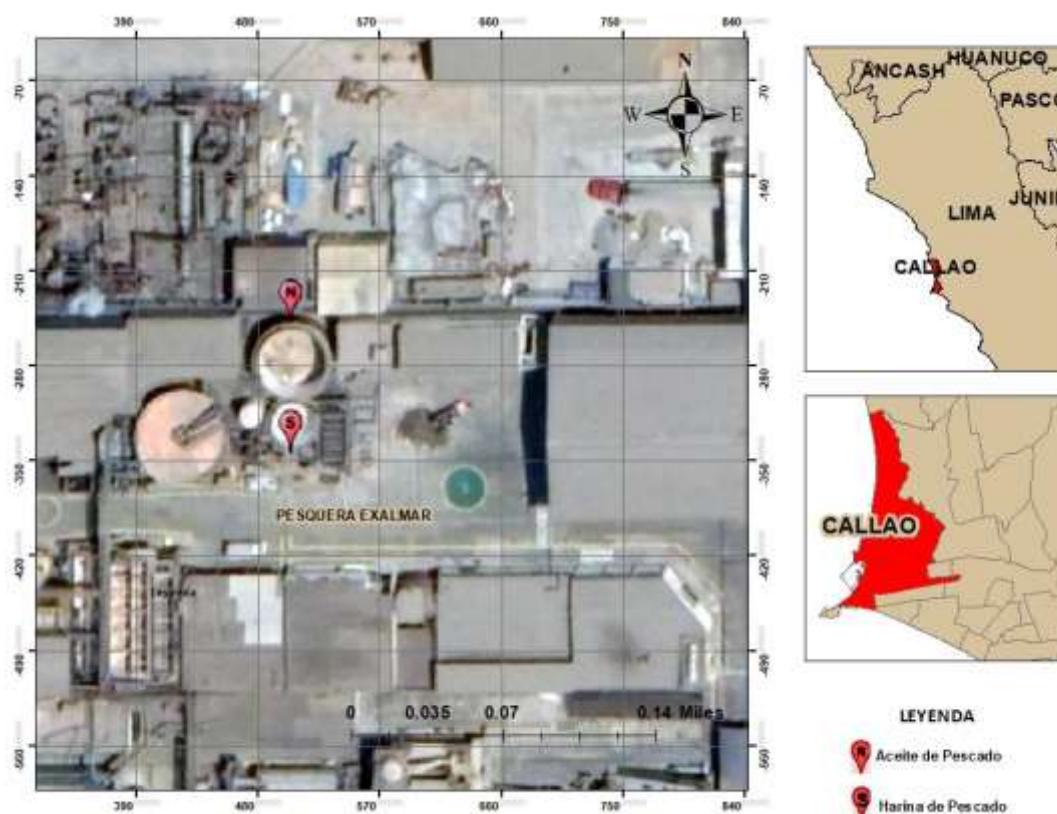
Las industrias pesqueras de la Bahía del Callao son industrias dedicadas a la producción de conservas, harina y aceite de pescado, por los cuales en sus procesos de producción generan efluentes afectando el medio ambiente.

El área de estudio comprende la Bahía del Callao (Figura 1), donde se ubican las piscinas de agua de bombeo en las que se vierten los efluentes de harina y aceite de pescado. Se seleccionaron dos puntos de muestreo: efluentes de harina de pescado (Sur) y efluentes

de aceite de pescado (Norte). La elección de ambos puntos es debido a las diferentes composiciones orgánicas en cada efluente.

**Figura 1**

*Área de Estudio y los puntos de muestreo*



### Recolección de muestras

La recolección de muestras compuestas se realizó durante un día, con un recipiente de plástico y de capacidad de 10 L, realizando tres repeticiones, para luego verterlo en un tanque de 50 L.

### 2.2 Evaluación de parámetros físico-químicos

De la muestra compuesta, se separaron tres submuestras para la determinación de los parámetros de DBO, turbidez, conductividad y pH, los cuales se midieron *in situ*.

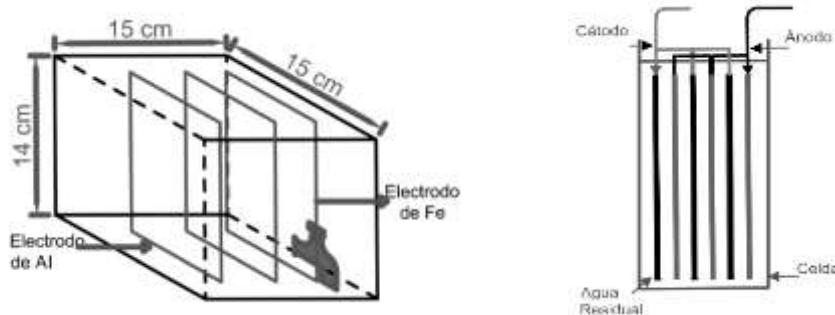
Los parámetros AyG, DQO y SST fueron determinados por el Analytical Laboratory E.I.R.L., donde fueron enviadas las muestras en cuatro envases de vidrio y ocho de plástico de capacidad de 1 L (Ver anexo Tabla suplementaria 1).

### 2.3 Diseño y construcción del sistema de electrocoagulación

Se construyó un reactor de electrocoagulación de vidrio con la capacidad de 2 L. Las medidas del reactor se muestran en la Figura 2.

**Figura 2**

*Reactor de electrocoagulación*



Los electrodos empleados fueron placas metálicas de aluminio y hierro, de medidas de 13 cm x 14 cm con grosor de 3 mm ordenados a lo largo del reactor y la distancia entre las placas fueron de 1 cm.

El número de electrodos se calculó según la siguiente fórmula (Apaza, 2018):

$$N^{\circ} \text{ electrodo} = \frac{(\text{ancho de celda}) - 2 \times (\text{distancia de electrodos a cara lateral})}{(\text{distancias máximas entre electrodos} + \text{grosor de placa})}$$

Las celdas de electrocoagulación son el soporte de los electrodos, los cuales son desarmables y de material acrílico, para facilitar su limpieza y orden después de cada prueba (Aguilar, 2015). Asimismo, se colocó una llave en el electrocoagulador para las tomas de muestras, esta llave estuvo situada a una altura de 2 pulgadas para la salida del efluente tratado. La fuente de poder tiene la función de proporcionar desde 0-12 A

y contar con un voltaje desde 0-20 V; asimismo, se empleó un cronómetro para las respectivas mediciones.

#### 2.4 Evaluación de la eficiencia del electrocoagulador

Teniendo en cuenta el mismo procedimiento para efluentes de harina y aceite de pescado, se trabajó con 2 L de aguas residuales, a una densidad de corriente de 5 V y 10V, los cuales fueron llevados al electrocoagulador en los tiempos de 5 y 10 min . A los 5 y los 10 min, se recogieron tres muestras de efluentes tratados de 100 ml cada una y se midieron los parámetros (Tabla 2). Siguiendo el orden del diseño factorial (ver Tabla suplementaria 3).

**Tabla 2**

*Parámetros evaluados*

Parámetro	Unidad
Aceite y Grasas	mg/L
DBO	mg/L
SST	Mg
Turbidez	NTU
Conductividad	Ms /cm
pH	-
DQO	mg/L

Los resultados obtenidos fueron expresados en porcentajes de remoción (%R), a través del siguiente un cálculo:

$$\%R = \left( \frac{C_0 - C_t}{C_0} \right) \times 100$$

Donde:

%R= Porcentaje de remoción

$C_0$ = Concentración inicial (mg/L)

$C_t$ = Concentración final (mg/L)

### **2.5 Análisis estadístico**

Se utilizó el programa Microsoft Excel para el análisis de la remoción de los parámetros AYG, DBO, SST y Turbidez. Asimismo, el estudio y desarrollo de la información se efectuaron a través del programa estadístico Minitab 19, empleando un diseño factorial  $2^2$  (dos factores y dos niveles por triplicado), que procesa los datos y proporciona las diferentes combinaciones de tratamientos.

Se realizaron las siguientes pruebas estadísticas: Probabilidad de Residuales, Análisis de Varianza (ANOVA), Diagramas de Pareto, Gráficas Efectos Principales, Gráfica Interacción y Gráfica Contorno con nivel de significancia de  $\alpha=0.05$  y con ello determinar el impacto y resultado de los factores (tiempo y voltaje) en la variable respuesta (remoción de DQO).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Medición inicial y final de los parámetros físico-químicos

Los resultados de la caracterización inicial y final se observan en la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Parámetros físico-químicos de los efluentes y su remoción*

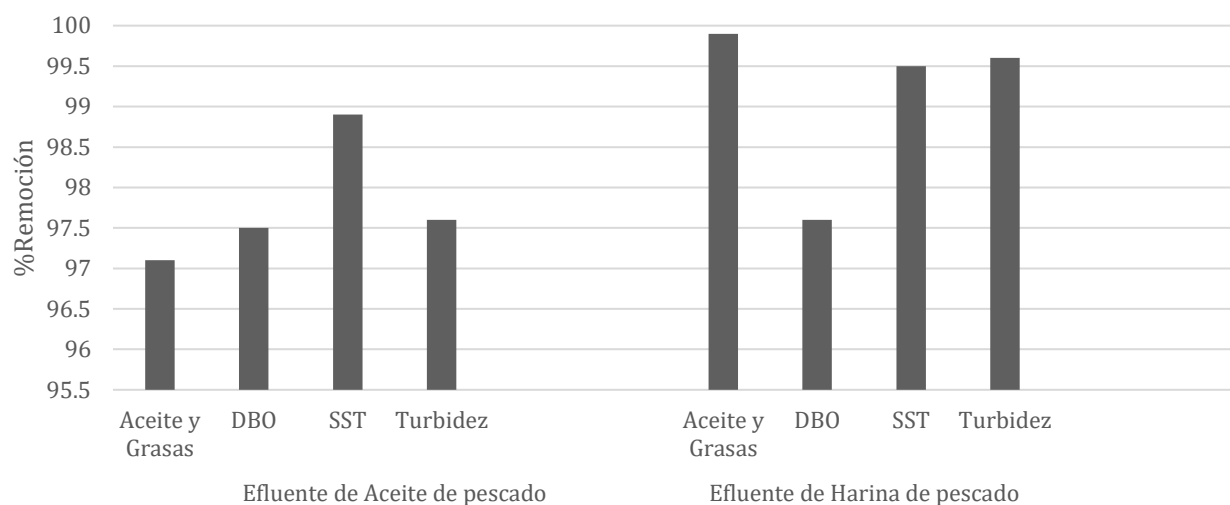
Parámetros	Unidad de medida	Efluente de Aceite de pescado		% de remoción	Efluente de Harina de pescado		% de remoción
		Inicio	Final	%	Inicio	Final	%
Aceite y Grasas	mg/L	17000	25	97.1	18000	18.05	99.9
DBO	mg/L	130200	3156	97.5	142480	3297	97.6
SST	mg	26433	284	98.9	42450	220	99.5
Turbidez	NTU	307	7.16	97.6	413	1.75	99.6
Conductividad	mS/cm)	16.79	17.52	-	30	20	-
pH	-	6.8	7.51	-	6.75	7.32	-

Se observa que la conductividad y el pH presentan valores estables, los demás parámetros han disminuido significativamente en ambos efluentes, siendo así que el porcentaje de remoción de AYG fue de 97.1% y 99.9 %, DBO en 97.5% y 97.6%, SST en 98.9% y 99.5%, y turbidez en 97.6% y 99.6% para efluente de aceite de pescado y harina de pescado respectivamente.



**Grafica 1.**

*Distribución de la remoción de efluentes de Harina y Aceite de pescado.*



Se observa que los valores de remoción de ambos efluentes supera el 97%, para los cuatro valores de parámetros evaluados, tanto para efluentes de aceite de pescado y harina de pescado.

### 3.2 Análisis de DQO

**Tabla 5**

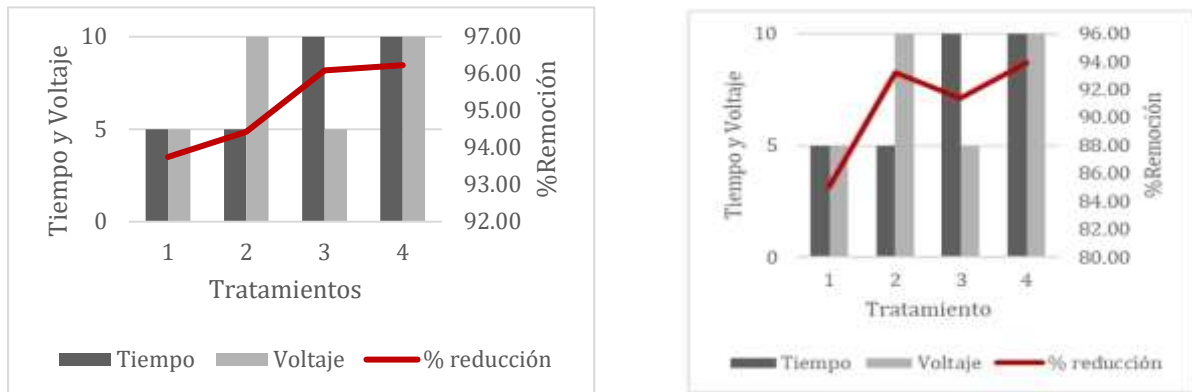
*Parámetro de DQO de los efluentes y su remoción*

Parámetro	Unidad de medida	Efluente de Aceite de pescado			Efluente de Harina de pescado		
		Inicio	Final	% de remoción	Inicio	Final	% de remoción
DQO	mg/L	137500	5197	96.2	165000	10056	93.9

La eficiencia de DQO para aguas residuales de aceite de pescado fue de 96.2% y para harina de pescado de 93.9%.

**Grafica 2.**

*Distribución del porcentaje de remoción de efluentes de aceite (izquierda) y harina de pescado (derecha) en función del tiempo y voltaje.*



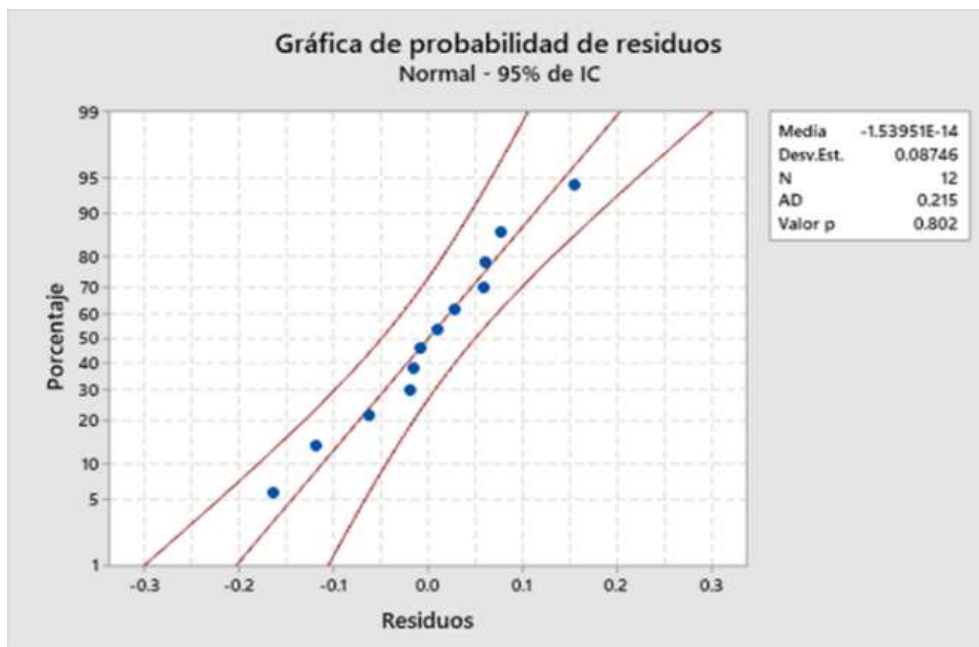
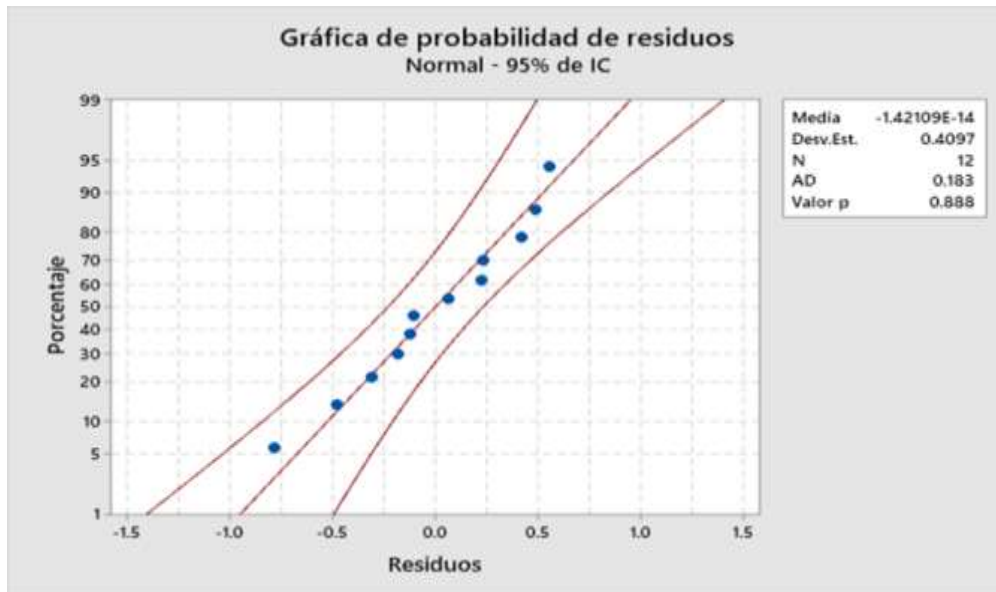
Se observa que al aumentar la variable tiempo y voltaje, el porcentaje de remoción aumenta significativamente. Asimismo, se aprecia que dichas variables trabajan directamente proporcionales, junto al porcentaje de remoción.

**3.3 Análisis estadístico de datos**

En la figura 3 de probabilidad normal de residuos, los datos de ambas aguas residuales están aproximados a la línea de distribución normal. Los valores p de las aguas residuales de aceite y harina de pescado son mayores que el nivel de significancia de 0.05 ( $p=0.802$  y  $p=0.888$ , respectivamente); por lo tanto, los datos presentan una distribución normal.

**Figura 3**

*Figura de probabilidad normal de residuos de aceite (izquierda) y harina de pescado (derecha)*



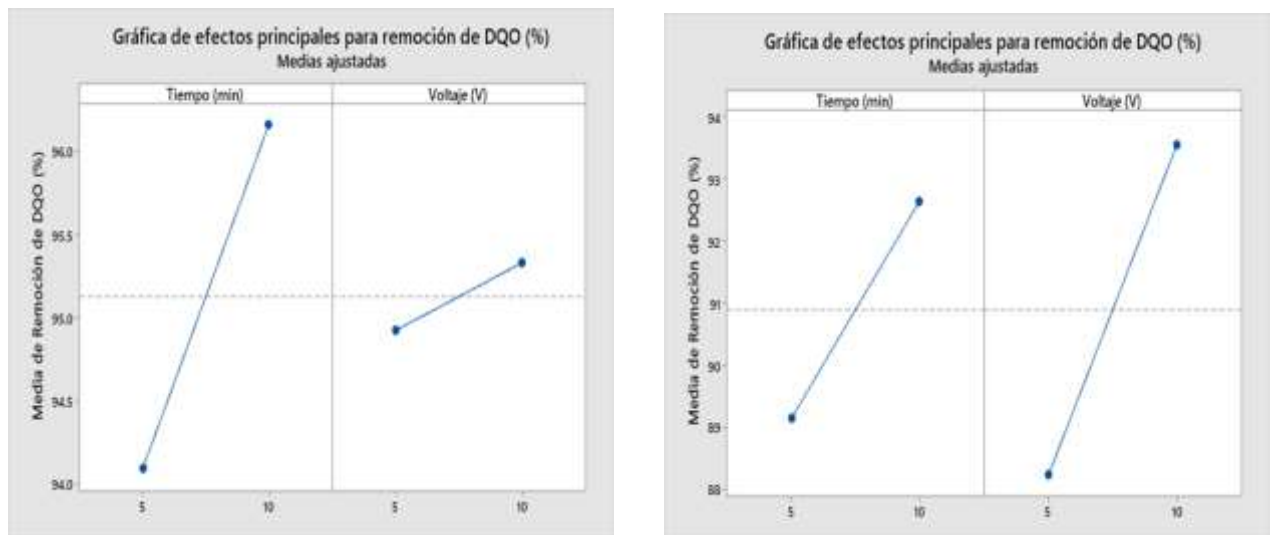
En el análisis ANOVA de los dos efluentes se obtuvo que el valor  $p < 0.05$  Tabla suplementaria 6 (Anexos), el cual indica que las medias de los tratamientos difieren; es decir, el tiempo y el voltaje impactan significativamente en el porcentaje de remoción de DQO de los efluentes, es decir existen diferencias significativas entre tratamientos. Se observa en la Tabla suplementaria 7 (Anexos) que el  $R^2$  ajustado es aproximadamente del 98.87% (aceite de pescado) y 97.70% (harina de pescado), valores adecuados al

ajuste del modelo, lo que indica que los factores tiempo y el voltaje influyen en gran magnitud en la remoción de DQO.

En la gráfica de efectos principales de los efluentes de aceite de pescado se observa que el tiempo tiene un mayor efecto que el voltaje y en la gráfica de harina de pescado ocurre lo contrario, es decir el voltaje cumple un gran rol para el porcentaje de remoción.

**Figura 4**

*Figura de efectos principales de residuos de aceite (izquierda) y harina de pescado (derecha)*



En la Figura suplementaria 1 (Anexos) de interacción de ambas aguas residuales, se puede apreciar que a un tiempo de 10 min se logra la remoción de DQO en mayor proporción que a 5 min en un porcentaje de 96.2%. Asimismo, a un voltaje de 10 V se obtiene remover la DQO en mucho más proporción que a 5 V, siendo la remoción 93.9%. En la Figura suplementaria 2 (Anexos) para las aguas residuales de aceite de pescado indica que para obtener una remoción de la DQO > 96.2% se llega a un tiempo de 10 min y a un voltaje de 10 V en promedio, mientras que, para las aguas residuales de harina de pescado, se observa que para obtener una remoción de la DQO > 93.9% se llega a un

tiempo de 10 min y a un voltaje de 10 V en promedio. Es decir, una mejor remoción de DQO ocurre a medida que el voltaje y tiempo tengan un nivel más alto (10 V y 10 min, respectivamente).

#### **4. DISCUSIONES**

Se observa que después del proceso de electrocoagulación, los parámetros físico-químicos han disminuido significativamente. Según Elaouani et al. (2018) y Atasoy et al. (2021), el rendimiento de la electrocoagulación depende principalmente del pH, conductividad, tipo de electrodo y tiempo de retención entre las placas.

##### **Efectos de la intensidad de corriente**

La intensidad de corriente utilizada en la parte experimental fue de 5 A, con un espacio de 3 mm entre los electrodos. Se determinó la reducción de aceites y grasas, DBO, SST y turbidez, fue de 97.1%; 97.5%, 98.9 % y 97.6% para los efluentes de aceite de pescado, respectivamente, y 99.9%, 97.6%, 99.5% y 99.6% para los efluentes de harina de pescado, respectivamente. Resultados similares fueron reportados por João et al. (2018), quienes trataron las aguas residuales de industrias pesqueras con una corriente eléctrica de 5A, obteniendo una reducción de 96.6% de turbidez, DQO de 93.3%, DBO del 97.5% y aceites y grasas de 93.6%. Aguilar-Ascón (2021) menciona que trabajando con 10 L de agua de bombeo de fábricas de pescado a una intensidad de corriente de 13 A en un tiempo de 30 min se logra eliminar los SST en un 99.9%.

La intensidad de corriente está relacionada con la aparición de burbujas en la superficie. Esto se puede atribuir a que a una alta intensidad de corriente, que aumenta la cantidad

de solución de aluminio anódico, lo que permite una mayor cantidad de precipitado para la eliminación de contaminantes (Aguilar-Ascón et al., 2021).

### **Efecto del tiempo**

El tiempo es un parámetro relevante para la eficiencia del electrocoagulador (Akter et al., 2022), por lo que el aumento de temperatura puede afectar de manera positiva y negativa a la eficiencia, lo que se puede deber a la dependencia del mecanismo de eliminación de los contaminantes (Vepsäläinen & Sillanpää, 2020).

En el presente estudio se trabajó con un tiempo 10 min, el cual permitió obtener resultados favorables mayores al 90% para la remoción de los parámetros de ambos efluentes. Resultados similares obtuvieron Igwegbe et al. (2021), en el que lograron resultados óptimos trabajando en un rango de 2 a 10 min, logrando eliminar hasta un 80.2% de los parámetros de los efluentes acuícolas. Por otro lado, (Jave Concepción et al., 2021), trabajaron con aguas residuales procedentes de mataderos, a una intensidad de 12 y 24 V por un tiempo de 15 y 10 min, respectivamente, obteniendo un porcentaje de remoción mayor al 90% para remover materia orgánica en función de la DBO.

### **Efectos del pH**

El pH se incrementó hasta un 7.51 y 7.32 para efluentes de aceite de pescado y harina de pescado, respectivamente. Según João et al. (2018), el aumento del pH es una conducta esperada en los tratamientos de efluentes levemente ácidos (originadas en

industrias pesqueras) y se relaciona con el aumento de la concentración de iones  $\text{OH}^-$  y la disminución de contaminantes en las aguas residuales (Abu et al., 2017). Así mismo Marmanis et al. (2022), indica que si el valor inicial del  $\text{pH} < 7$ , el aumento del  $\text{pH}$  final se debe al desprendimiento del hidrógeno y la creación de iones  $\text{OH}^-$  en el cátodo y a un  $\text{pH} > 8$ , el valor de  $\text{pH}$  final no cambia significativamente debido a que los iones  $\text{OH}^-$  producidos en el cátodo se unen a los iones de  $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{Fe}^{3+}$  del ánodo, permitiendo formar las partículas  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  y  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , que son indispensables para el proceso de electrocoagulación. Acotando a ello Bharath et al. (2020), menciona que a una condición de  $\text{pH}$  alcalino, es más favorable tratar efluentes de vertederos. Adicionalmente, (Shokri, 2019) indica que el método de electrocoagulación, presenta la función de amortiguamiento del  $\text{pH}$ , especialmente en ambientes alcalinos, así como la distribución y estabilidad del aluminio depende de las condiciones del  $\text{pH}$  y de esta manera proporcionar la eliminación de contaminantes (Deveci et al., 2019).

Por otra parte, Shokri (2019) señala que las condiciones óptimas para tratar aguas residuales sintéticas, fueron con un  $\text{pH}$  inicial cercano a 7, densidad de corriente a  $2\text{mA/cm}$  y trabajar con un tiempo de 60 minutos, obteniendo eficiencia de remoción de 85.5% de DQO. Por lo contrario Mansour et al. (2021), determina que trabajando a una densidad de corriente de  $15\text{ mA/cm}$ , tiempo de 90 min y  $\text{pH}$  inicial de 6 para efluentes de vertederos se logró remover un 94% y 97% de DQO y color. Ello se comprobó en la presente investigación.

### **Diseño experimental-DQO**

Akter et al. (2022) menciona que el método de electrocoagulación es un tratamiento eficiente para diferentes tipos de aguas residuales industriales, aguas municipales y

potables. Adicionalmente, Mousazadeh et al. (2021) señala que el método tiene la capacidad de remover grandes volúmenes de DQO, para el caso de efluentes de harina y aceite de pescado, las mejores condiciones de aplicación del método se encuentran a 10 V y un intervalo de tiempo de 60 min, llegando a remover DQO en >90%, garantizando una alta eficiencia. Asimismo, Demirci & Özbeyaz (2019) aplicaron el método de electrocoagulación con un voltaje de 15 V a efluentes pesqueros, removiendo el DQO en >91%.

Además, Aguilar et al. (2021) evaluaron las aguas de bombeo de fábricas de pescado y obtuvieron un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de >92.32%, lo que les permitió afirmar que el tiempo y el voltaje influyen de manera significativa en la remoción del DQO. Para el caso de efluentes de harina y aceite de pescado de industrias pesqueras, obteniendo coeficientes de determinación de 98.87% y 97.70% respectivamente, lo cual indica que los coeficientes de determinación de ambos efluentes se ajustan a la variable del porcentaje de remoción acercándose al 100%.

Por otro lado, en los efluentes de aceite de pescado para los efectos principales, el tiempo tiene una mayor influencia para remover DQO. An et al. (2017) señalan que, para remover los aceites de aguas residuales en cantidades altas, se necesita más tiempo debido a que los aceites se encuentran en pequeñas gotas suspendidas o pueden encontrarse al fondo del cuerpo de agua.

Para el efluente con harina de pescado, los efectos principales están relacionados principalmente con el voltaje. Como señalan João et al. (2018) y Zhang et al. (2021), el voltaje fue determinante para la remoción de DQO en un 93.3% de la aguas con harina



de pescado y ello se debe a que estas aguas contienen materia orgánica en forma de suspensión.

Se puede comprobar en base a los resultados, la eficiencia del método electrocoagulación.

## **5. CONCLUSIÓN**

Este estudio demostró la eficiencia de electrocoagulación para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de la industria pesquera de la Bahía del Callao.

Llegando a la conclusión que, a mayor tiempo e intensidad de corriente, mayor es la eliminación de contaminantes en efluentes de harina y aceite de pescado. Por ello, es un tratamiento que se puede aplicar en efluentes industriales.

## REFERENCIAS

- Abu, M., Alam, N., Ahmad, F., Zahangir, A., & Mafizur, R. (2017). Treatment of tannery wastewater by electrocoagulation. *Journal of Environmental Sciences*, 19(12), 1409–1415. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(07\)60230-7](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(07)60230-7)
- Aguilar, E. A. (2015). Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua. *Rev. del Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM*, 18(35), 69-73.
- Aguilar-Ascón, E., Neyra-Ascón, W., Albrecht-Ruiz, M., & Ibarra-Basurto, A. (2021). Optimizing the Reduction of Total Suspended Solids in Pump Water from Fish Factories Through Electrocoagulation using Response Surface Methodology. *Journal of Ecological Engineering*, 22(6), 269–277. <https://doi.org/10.12911/22998993/137079>
- Ancieta, C. (2014). Modelo Matemático para determinar la calidad del agua de mar en la Bahía del Callao, Perú. *Instituto de Investigación de Ingeniería Química*, (305), 1-98.
- Apaza, H. (2018). Sistema combinado electrocoagulación-filtro biológico para la remoción de carga orgánica de los efluentes lácteos. *Universidad Nacional Agraria la Molina*. Aguilar-Ascón, E., Neyra-Ascón, W., Albrecht-Ruiz, M., & Ibarra-Basurto, A. (2021). Optimizing the Reduction of Total Suspended Solids in Pump Water from Fish Factories Through Electrocoagulation using Response Surface Methodology. *Journal of Ecological Engineering*, 22(6), 269-277. <https://doi.org/10.12911/22998993/137079>
- Akter, S., Suhan, M. B. K., & Islam, M. S. (2022). Recent advances and perspective of

- electrocoagulation in the treatment of wastewater: A review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 17(August 2021), 100643.  
<https://doi.org/10.1016/j.enmm.2022.100643>
- An, C., Huang, G., Yao, Y., & Zhao, S. (2017). Emerging usage of electrocoagulation technology for oil removal from wastewater: A review. *Science of the Total Environment*, 579, 537-556. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.062>
- Atasoy, A. D., Bagci, Y., Yurtsever, A., Karabulut, B., & Yenigün, İ. (2021). *ELECTROCOAGULATION PROCESS FOR SHORT TREATMENT PERIOD OF ARSENIC CONTAMINATED WATER*. 20(12), 1973-1980.
- Bharath, M., Krishna, B. M., & Manoj Kumar, B. (2020). Degradation and biodegradability improvement of the landfill leachate using electrocoagulation with iron and aluminum electrodes: A comparative study. *Water Practice and Technology*, 15(2), 540-549. <https://doi.org/10.2166/wpt.2020.041>
- Demirci, Y., & Özbeyaz, A. (2019). Wastewater treatment in electrocoagulation systems: investigation of the impact of temperature using a fuzzy logic control algorithm. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(30), 30893-30906.  
<https://doi.org/10.1007/s11356-019-06279-4>
- Deveci, E. Ü., Akarsu, C., Gönen, Ç., & Özay, Y. (2019). Enhancing treatability of tannery wastewater by integrated process of electrocoagulation and fungal via using RSM in an economic perspective. *Process Biochemistry*, 84(June), 124-133.  
<https://doi.org/10.1016/j.procbio.2019.06.016>
- Elaouani, H., Jaafari, K., Benkhouja, K., Elbada, N., & Haffad, H. (2018). Industrial fish wastewater treatment by electrocoagulation processes powered by solar energy. *3rd Renewable Energies, Power Systems and Green Inclusive Economy*,

*REPS and GIE 2018*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/REPSGIE.2018.8488845>

Igwegbe, C. A., Onukwuli, O. D., Ighalo, J. O., & Umembamalu, C. J. (2021).

Electrocoagulation-flocculation of aquaculture effluent using hybrid iron and aluminium electrodes: A comparative study. *Chemical Engineering Journal Advances*, 6(January), 100107. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.100107>

Jave Concepción, H. G., Rascón, J., Pinedo Gómez, K. J. L., Guzmán Trujillo, F. Z., & Troya

Paredes, D. (2021). Eficiencia de la remoción de materia orgánica mediante electrocoagulación para tratar aguas residuales procedentes de mataderos. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 5(2), 1. <https://doi.org/10.25127/aps.20212.763>

João, J. J., Emerick, T., De Filho, U. S., & Nishihora, R. K. (2018). Electrocoagulation-

flotation process: Investigation of operational parameters for wastewater treatment from fishery industry. *Quimica Nova*, 41(2), 163-168. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170166>

Mansour, D., El-Sofany, W. I., Abdella, F. I. A., Masood, N., Khalaf Dhahi Alsukaibi, A., &

Bellakhal, N. (2021). Doehlert experimental design for the optimization of electrocoagulation treatment of landfill leachate. *Environmental Pollutants and Bioavailability*, 33(1), 395-401. <https://doi.org/10.1080/26395940.2021.1993752>

Marmanis, D., Emmanouil, C., Fantidis, J. G., Thysiadou, A., & Marmani, K. (2022).

*Description of a Fe / Al Electrocoagulation Method Powered by a Photovoltaic System , for the ( Pre- ) Treatment of Municipal Wastewater of a Small Community in Northern Greece.*

Mousazadeh, M., Niaragh, E. K., Usman, M., Khan, S. U., Sandoval, M. A., Al-Qodah, Z.,

- Khalid, Z. Bin, Gilhotra, V., & Emamjomeh, M. M. (2021). A critical review of state-of-the-art electrocoagulation technique applied to COD-rich industrial wastewaters. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(32), 43143-43172. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14631-w>
- Shokri, A. (2019). Application of electrocoagulation process for the removal of acid orange 5 in synthetic wastewater. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 38(2), 113-119.
- Vepsäläinen, M., & Sillanpää, M. (2020). Electrocoagulation in the treatment of industrial waters and wastewaters. En *Advanced Water Treatment: Electrochemical Methods*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819227-6.00001-2>
- Zhang, H., Gao, Y., Liu, J., Lin, Z., Lee, C. T., Hashim, H., Wu, W. M., & Li, C. (2021). Recovery of nutrients from fish sludge as liquid fertilizer to enhance sustainability of aquaponics: A review. *Chemical Engineering Transactions*, 83(2018), 55-60. <https://doi.org/10.3303/CET2183010>
- Valenzuela, A., Sanhueza, J., & De la Barra, F. (2012). El aceite de pescado: Ayer un desecho Industrial, hoy un producto de alto valor nutricional. *Revista Chilena de Nutricion*, 39(2), 201-209. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182012000200009>
- Velasco, F. (2001). *Geología Marina y Ambiental del área entre la Bahía del Callao y Ventanilla* (Universidad Nacional de Ingeniería). Recuperado de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1294>
- Vepsäläinen, M., & Sillanpää, M. (2020). Electrocoagulation in the treatment of industrial waters and wastewaters. En *Advanced Water Treatment: Electrochemical Methods*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819227-6.00001-2>

2

Zhang, H., Gao, Y., Liu, J., Lin, Z., Lee, C. T., Hashim, H., ... Li, C. (2021). Recovery of nutrients from fish sludge as liquid fertilizer to enhance sustainability of aquaponics: A review. *Chemical Engineering Transactions*, 83(2018), 55-60.  
<https://doi.org/10.3303/CET2183010>

## 6. ANEXOS

### Tabla suplementaria 2

*Parámetros evaluados*

Parámetro	Cantidad	Tipo de envase
AYG	4	Vidrio
DBO	4	Plástico
SST	4	Plástico

### Tabla suplementaria 3

*Diseño factorial de efluentes de Aceite de pescado (Norte) (primero) y efluentes de Harina de pescado (Sur) (segundo)*

NORTE			
Orden	Bloques	Tiempo (min)	Voltaje (V)
0	0	0	0
1	1	5	5
2	1	5	10
3	1	10	5
4	1	10	10
5	2	5	5
6	2	5	10
7	2	10	5
8	2	10	10
9	3	5	5
10	3	5	10
11	3	10	5
12	3	10	10

SUR

Orden	Bloques	Tiempo (min)	Voltaje (V)
0	0	0	0
1	1	5	5
2	1	5	10
3	1	10	5
4	1	10	10
5	2	5	5
6	2	5	10
7	2	10	5
8	2	10	10
9	3	5	5
10	3	5	10
11	3	10	5
12	3	10	10

**Tabla suplementaria 6**

*Análisis de Varianza (ANOVA) de efluentes de Aceite de pescado (Norte) (primero) y efluentes de Harina de pescado (Sur) (segundo)*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	13.5958	2.7192	193.88	0.000
Bloques	2	0.0150	0.0075	0.53	0.612
Lineal	2	13.3597	6.6798	476.29	0.000
Tiempo (min)	1	12.8615	12.8615	917.06	0.000
Voltaje (V)	1	0.4982	0.4982	35.52	0.001



Interacciones de 2 términos	1	0.2212	0.2212	15.77	0.007
-----------------------------	---	--------	--------	-------	-------

Tiempo (min)\*Voltaje (V)

Error	6	0.0841	0.0140		
-------	---	--------	--------	--	--

Total	11	13.6800			
-------	----	---------	--	--	--

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	145.616	29.1233	94.62	0.000
Bloques	2	0.290	0.1450	0.47	0.646
Lineal	2	122.185	61.0925	198.48	0.000
Tiempo (min)	1	36.865	36.8646	119.77	0.000
Voltaje (V)	1	85.320	85.3204	277.20	0.000
Interacciones de 2 términos	1	23.141	23.1414	75.18	0.000
Tiempo (min)*Voltaje (V)					
Error	6	1.847	0.3078		
Total	11	147.463			

*Nota:* Resultados obtenidos del software estadístico Minitab 19.

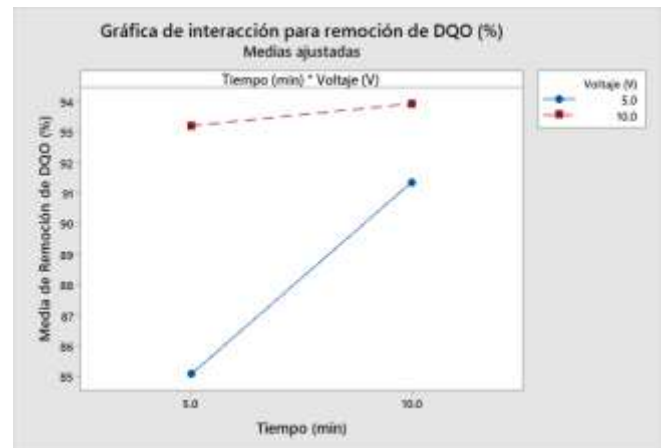
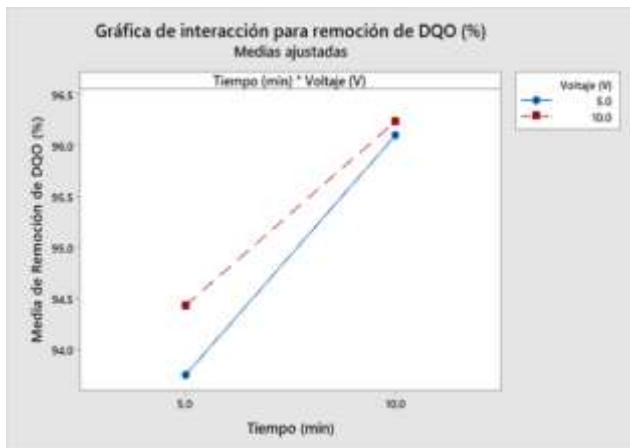
**Tabla suplementaria 7**

*Resumen del modelo de efluente de aceite de pescado (derecha) y harina de pescado (izquierda)*

S	R-cuad.	R-cuad.	R-cuad.	S	R-cuad.	R-cuad.	R-cuad.
		(ajustado)	(pred)			(ajustado)	(pred)
0.118426	99.38%	98.87%	97.54%	0.554795	98.75%	97.70%	94.99%

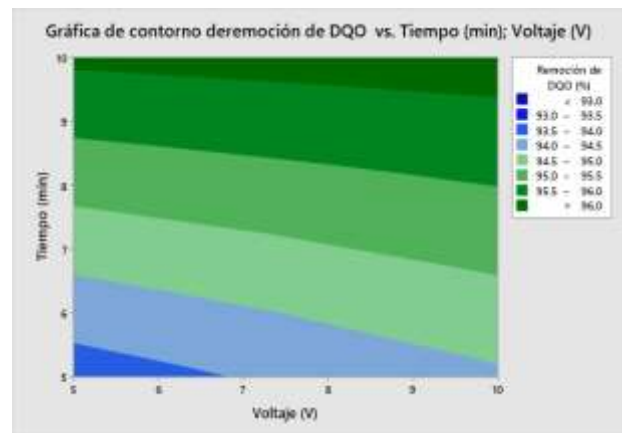
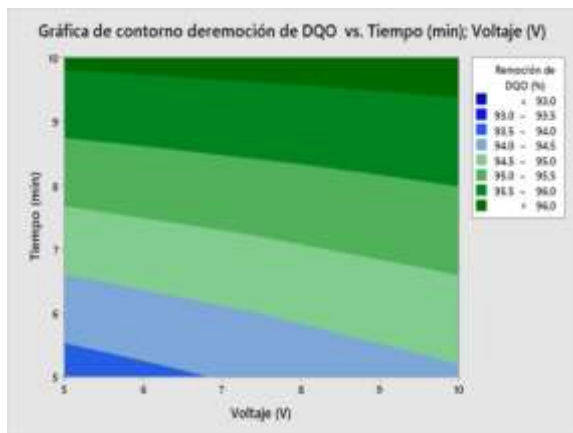
**Figura suplementaria 1**

*Figura de interacción de agua residual de Harina de pescado (Izquierda) y Aceite de pescado (Derecha)*

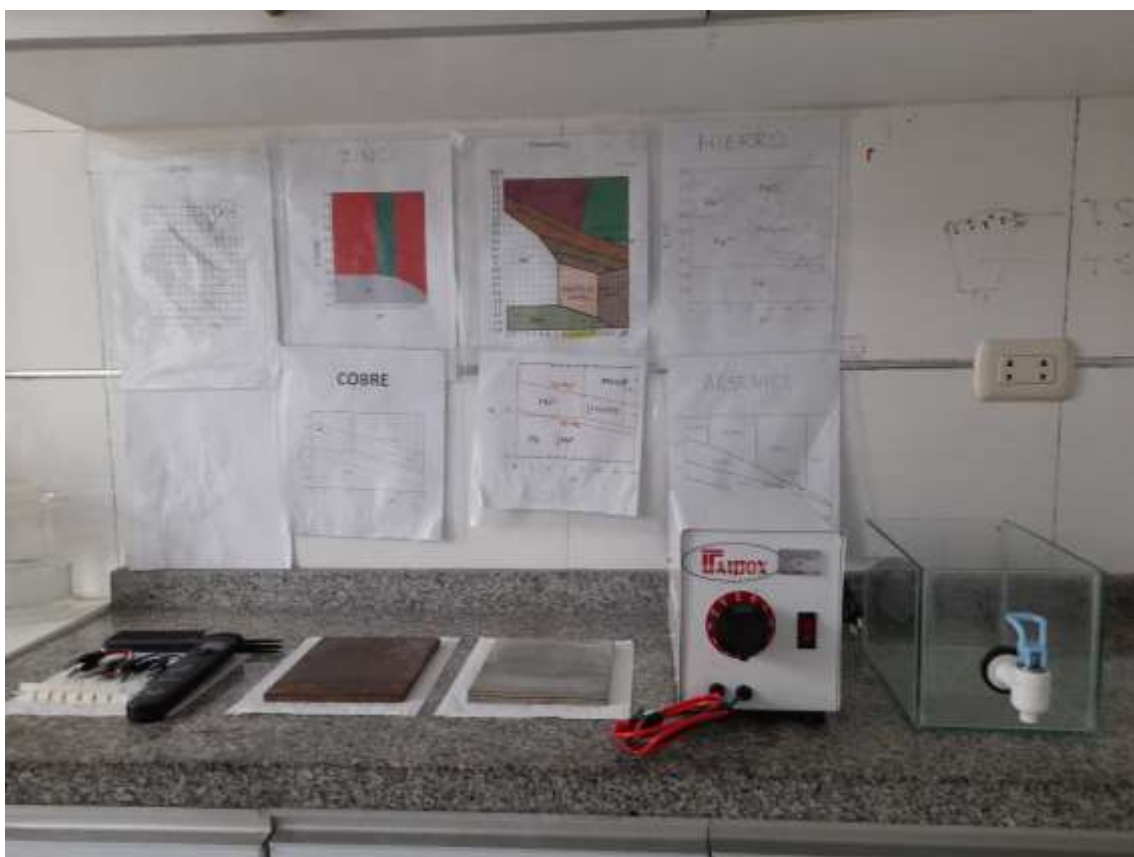


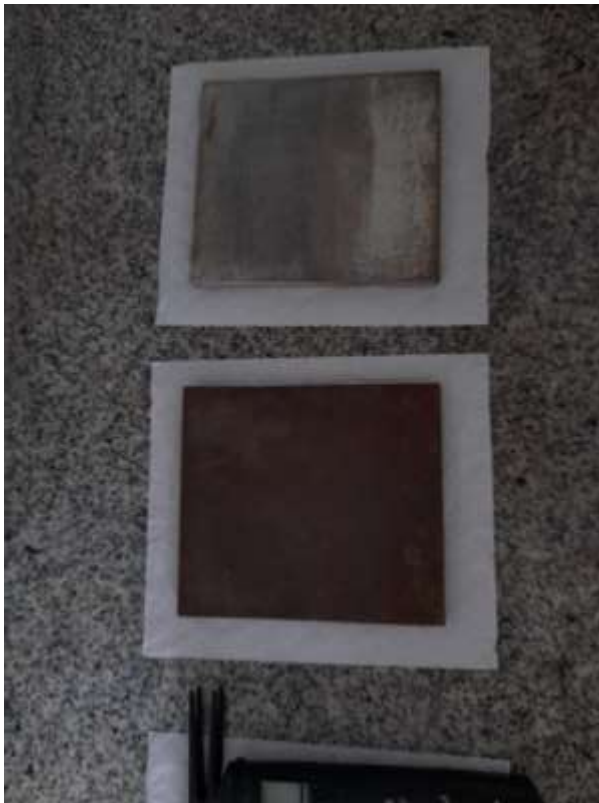
**Figura suplementaria 2**

*Figura de contorno de la remoción de DQO vs. Tiempo-Voltaje de residuo de Aceite de pescado (izquierda) y Harina de pescado (Derecha)*



Fotografías de parte experimental













**Carta de aprobación académica (Carrera)**



**RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°160-2020-DACIA-DAFCA-U.CIENTIFICA.**

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES  
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Lima 25 de septiembre del 2020

**VISTO:**

El informe de revisión independiente académica y la aprobación de un Comité de Ética del proyecto de tesis titulado: **Aplicación del método de electrocoagulación para la reducción de niveles de efluentes de industrias pesqueras - bahía del Callao**, presentado por:

- **Katherin Judith Carrera Arutinco**
- **Marilyn Cristina Falcón Llacctas**

**CONSIDERANDO:**

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el título profesional de **Ingeniera Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

**SE RESUELVE:**

Aprobar e inscribir el proyecto de tesis titulado: **Aplicación del método de electrocoagulación para la reducción de niveles de efluentes de industrias pesqueras - bahía del Callao** con N° de registro: **443-2019-PRE11**, y establecer el inicio del periodo de ejecución del mencionado proyecto.

Nombrar al docente/colaborador **Olga Vadimovna Kostenko de Caparo** como asesora para el desarrollo de la tesis en cuestión.

Regístrese, comuníquese y archívese,

  
*Documento firmado digitalmente*  
**Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca**  
Director Académico  
Carrera de Ingeniería Ambiental

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR  
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
LIMA - PERÚ

Copia de documento de aprobación de comité de ética (DGIDI o revista)

**COMITÉ INSTITUCIONAL DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN CON ANIMALES Y BIODIVERSIDAD**



Constancia N° 057-CIEI-AB-CIENTÍFICA-2020

El presidente del Comité Institucional de Ética en Investigación con Animales y Biodiversidad de la Universidad Científica del Sur (CIEI-AB-CIENTÍFICA) da constancia que el proyecto de investigación, cuyos datos se registran a continuación, ha sido **aprobado**.

Código de registro: **443-2019-PRE11**  
 Título: **Aplicación del método de electrocoagulación para la reducción de niveles de efluentes de industrias pesqueras - bahía del Callao**  
 Investigador(a): **Katherin Judith Carrera Arutincó  
 Marilyn Cristina Falcón Llacctas**

La aprobación del proyecto de investigación implica que el documento presentado a evaluación cumple con los lineamientos de Universidad en materia de investigación y ética, los cuales se sustentan en la normativa internacional vigente. Adicionalmente, en el contexto de la pandemia de enfermedad por COVID-19, le recomendamos cumplir con las normas publicadas por el estado peruano.

En tal sentido, esta aprobación carecerá de valor si es que el proyecto de investigación arriba indicado es modificado de cualquier forma. Toda enmienda, añadido, eliminación o eventualidad (eventos adversos, etc.) posterior a la fecha de aprobación debe ser reportado al CIEI-AB-CIENTÍFICA.

La vigencia de la aprobación de este documento es de dieciocho (18) meses (**hasta el 02 de diciembre del 2021**), periodo en el que puede desarrollarse el proyecto. Cualquier trámite para su renovación deberá ser enviado antes del término de la vigencia de este documento, debiendo suspenderse todo desarrollo hasta que la renovación sea aprobada.

Villa El Salvador, 03 de junio de 2020




Méd. Vet. Gianmarco Paolo Rojas Moreno  
 Presidente  
 Comité Institucional de Ética en Investigación  
 con Animales y Biodiversidad

Tel: (51) 61 6236 | Asesoría al postulante  
 informes@cientificadelsur.pe | Campus Vía 2 - Panamericana Sur km 51  
 Calle Centurias 336, Matfines