



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Efecto de la electrocoagulación en la remoción de contaminantes de agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima, 2023.

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**  
Ingeniero Ambiental

**AUTORES:**

Chinchay Revolledo, Yenny Carolina ([orcid.org/0000-0002-2491-198X](https://orcid.org/0000-0002-2491-198X))

Guardia Rios, Elliot Joule ([orcid.org/0000-0003-1400-7134](https://orcid.org/0000-0003-1400-7134))

**ASESOR:**

Dr. Ordoñez Galvez, Juan Julio ([orcid.org/0000-0002-3419-7361](https://orcid.org/0000-0002-3419-7361))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Tratamiento y Gestión de los Residuos

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA - PERÚ

2023

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mis padres por el apoyo y la confianza hacia mi persona, a mis docentes por sus enseñanzas y por la paciencia brindada.

*Chinchay Revolledo Yenny Carolina*

Dedico esta tesis a mi madre, quien, con su ejemplo y amor, me inspiró a no rendirme, a mi padre por el apoyo incondicional.

*Guardia Ríos Elliot Joule*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme las fuerzas de seguir adelante, a mis padres por el gran apoyo que me han brindado, agradezco a los docentes por todo el esfuerzo que hacen para ayudarnos a ser profesionales.

*Chinchay Revolledo Yenny Carolina*

Agradezco a Dios por la salud, a mis catedráticos por transmitirnos sus conocimientos y a mi universidad por darnos las herramientas para forjarme.

*Guardia Ríos Elliot Joule*

# DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

## **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, ORDOÑEZ GALVEZ JUAN JULIO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA NORTE, asesor de Tesis titulada: "Efecto de la electrocoagulación en la remoción de contaminantes de agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima, 2023.", cuyos autores son GUARDIA RIOS ELLIOT JOULE, CHINCHAY REVOLLEDO YENNY CAROLINA, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 15.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 26 de Noviembre del 2023

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
ORDOÑEZ GALVEZ JUAN JULIO <b>DNI:</b> 08447308 <b>ORCID:</b> 0000-0002-3419-7361	Firmado electrónicamente por: JORDONEZ02 el 06- 12-2023 17:28:09

Código documento Trilce: TRI - 0665831

# DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DE LOS AURTORES



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

## **Declaratoria de Originalidad de los Autores**

Nosotros, GUARDIA RIOS ELLIOT JOULE, CHINCHAY REVOLLEDO YENNY CAROLINA estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA NORTE, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Efecto de la electrocoagulación en la remoción de contaminantes de agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima, 2023.", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

<b>Nombres y Apellidos</b>	<b>Firma</b>
ELLIOT JOULE GUARDIA RIOS <b>DNI:</b> 71244274 <b>ORCID:</b> 0000-0003-1400-7134	Firmado electrónicamente por: EGUARDIARI el 26-11- 2023 13:22:37
YENNY CAROLINA CHINCHAY REVOLLEDO <b>DNI:</b> 75673216 <b>ORCID:</b> 0000-0002-2491-198X	Firmado electrónicamente por: YCHINCHAYR el 26- 11-2023 08:43:04

Código documento Trilce: TRI - 0665832

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR.....	iv
DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DE LOS AURTORES .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
RESUMEN.....	x
ABSTRACT .....	xi
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
<b>III. METODOLOGÍA .....</b>	<b>30</b>
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	30
3.2. Variables y operacionalización de variables .....	31
3.3. Población, muestra y muestreo .....	32
3.4. Técnicas e instrumento de recolección de datos .....	33
3.5. Procedimientos.....	33
3.6. Método de análisis.....	39
3.7. Aspectos éticos .....	40
<b>IV. RESULTADOS.....</b>	<b>41</b>
4.1. Resultados descriptivos.....	41
4.2. Resultados inferenciales.....	47
<b>V. DISCUSIÓN.....</b>	<b>49</b>
<b>VI. CONCLUSIONES.....</b>	<b>56</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>57</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>58</b>
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Primordiales contaminantes de las aguas residuales y sus efectos .....	18
<b>Tabla 2</b>	Etapas del tratamiento de aguas residuales.....	19
<b>Tabla 3</b>	Matriz de diseño para réplica completa de diseño 3 <sup>2</sup> .....	31
<b>Tabla 4</b>	Recipiente para la toma de muestras .....	35
<b>Tabla 5</b>	Resultados descriptivos de los datos.....	41
<b>Tabla 6</b>	Operacionalización de variables .....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Como se clasifican las aguas residuales. ....	15
<b>Figura 2.</b> Como se clasifican las aguas residuales .....	20
<b>Figura 3.</b> Clasificación de los distintos tipos de materia que contiene el agua residual .....	21
<b>Figura 4.</b> Sistema de electrocoagulación .....	22
<b>Figura 5.</b> Procesos que intervienen en un reactor de electrocoagulación .....	23
<b>Figura 6.</b> Disposición de electrodos en configuración monopolar y bipolar. ....	24
<b>Figura 7.</b> Esquema de reactor electrolítico .....	24
<b>Figura 8.</b> Mecanismo de electrocoagulación en agua contaminada .....	26
<b>Figura 9.</b> Flujograma de la etapa de experimentación.....	33
<b>Figura 10.</b> Identificación del punto de muestreo.....	34
<b>Figura 11.</b> Celda de electrocoagulación .....	36
<b>Figura 12.</b> Soporte de electrodos con electrodos y cables.....	37
<b>Figura 13.</b> Intensidad de corriente óptima para el pH .....	12
<b>Figura 14.</b> Intensidad de corriente óptima para la Temperatura.....	13
<b>Figura 15.</b> Intensidad de corriente óptima para la Conductividad eléctrica .....	14
<b>Figura 16.</b> Intensidad de corriente óptima para el oxígeno disuelto .....	15
<b>Figura 17.</b> Intensidad de corriente óptima para la Turbidez .....	16
<b>Figura 18.</b> Intensidad de corriente óptima para los aceites y grasas .....	17
<b>Figura 19.</b> Intensidad de corriente óptima para los SST .....	18
<b>Figura 20.</b> Intensidad de corriente óptima para la DBO <sub>5</sub> .....	19
<b>Figura 21.</b> Intensidad de corriente óptima para la DQO.....	20
<b>Figura 22.</b> Intensidad de corriente óptima para el fósforo .....	21
<b>Figura 23.</b> Intensidad de corriente óptima para el nitrógeno .....	22
<b>Figura 24.</b> Tiempo óptimo para el pH.....	23
<b>Figura 25.</b> Tiempo óptimo para la Temperatura .....	24
<b>Figura 26.</b> Tiempo óptimo para la Conductividad eléctrica.....	25
<b>Figura 27.</b> Tiempo óptimo para el oxígeno disuelto .....	26
<b>Figura 28.</b> Tiempo óptimo para la remoción de Turbidez.....	27
<b>Figura 29.</b> Tiempo óptimo para la remoción de aceites y grasas .....	28

<b>Figura 30.</b> Tiempo óptimo para la remoción de SST .....	29
<b>Figura 31.</b> Tiempo óptimo para la remoción de la DBO <sub>5</sub> .....	30
<b>Figura 32.</b> Tiempo óptimo para la remoción de la DQO .....	31
<b>Figura 33.</b> Tiempo óptimo para la remoción del fósforo .....	32
<b>Figura 34.</b> Tiempo óptimo para la remoción del nitrógeno .....	33
<b>Figura 35.</b> Resultados del pH antes y después del tratamiento .....	34
<b>Figura 36.</b> Resultados de la temperatura antes y después del tratamiento.....	35
<b>Figura 37.</b> Resultados de la conductividad antes y después del tratamiento .....	36
<b>Figura 38.</b> Resultados de la Oxígeno disuelto antes y después del tratamiento ...	37
<b>Figura 39.</b> Resultados de la Turbidez antes y después del tratamiento .....	38
<b>Figura 40.</b> Resultados de Aceites y Grasas antes y después del tratamiento.....	39
<b>Figura 41.</b> Resultados de SST antes y después del tratamiento.....	40
<b>Figura 42.</b> Resultados de DBO <sub>5</sub> antes y después del tratamiento.....	41
<b>Figura 43.</b> Resultados de DQO antes y después del tratamiento.....	42
<b>Figura 44.</b> Resultados de Fósforo total antes y después del tratamiento.....	43
<b>Figura 45.</b> Resultados de Nitrógeno total antes y después del tratamiento.....	44
<b>Figura 46.</b> Porcentaje de remoción en relación al tiempo de tratamiento.....	45
<b>Figura 47.</b> Porcentaje de remoción en relación al Amperaje.....	46

## RESUMEN

A nivel mundial, solo un pequeño porcentaje de las aguas residuales generadas recibe tratamiento, una cifra preocupante si se tiene en cuenta que alrededor del 80% de estas aguas se descargan directamente en cuerpos de agua y suelos sin haber pasado por ningún tratamiento o uno adecuado, lo que resulta en la contaminación del ecosistema. Este estudio tiene como objetivo determinar el efecto de la electrocoagulación en la remoción de contaminantes del agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima. El alcance fue explicativo, de tipo aplicado, el diseño fue experimental factorial, se realizaron 3 repeticiones con intensidades de corriente de 6, 10 y 15A en tiempos de 30, 60 y 90 minutos, la muestra fueron 30 litros de agua residual proveniente de una empresa pesquera, el instrumento usado fue la ficha de observación y la técnica fue la observación. Los resultados evidenciaron la eficacia de la electrocoagulación en la remoción de nitritos, fosfatos, aceites y grasas, sólidos suspendidos, materia orgánica, microorganismos, lípidos y proteínas a una confianza del 95% y una p-valor igual a 0.041. La conclusión es que el empleo de la electrocoagulación contribuye en la remoción de contaminantes presentes en el agua residual de la empresa pesquera.

**Palabras clave:** Electrocoagulación, caracterización fisicoquímica, agua residual, Intensidad de corriente.

## ABSTRACT

Globally, only a small percentage of the wastewater generated is treated, a worrying figure considering that around 80% of this water is discharged directly into bodies of water and soils without having gone through any treatment or a proper one, resulting in the contamination of the ecosystem. The objective of this study was to determine the effect of electrocoagulation on the removal of pollutants from the industrial wastewater of a fishing company in Lima. The scope was explanatory, applied, the design was factorial experimental, 3 repetitions were performed with current intensities of 6, 10 and 15A in times of 30, 60 and 90 minutes, the sample was 30 liters of wastewater from a fishing company, the instrument used was the observation sheet and the technique was observation. The results showed the effectiveness of electrocoagulation in the removal of contaminants at a confidence of 95% and a p-value equal to 0.041. The conclusion is that the use of electrocoagulation contributes to the removal of pollutants present in the wastewater of the fishing company.

**Keywords:** Electrocoagulation, physicochemical characterization, wastewater, current intensity.

## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, a nivel global, la humanidad atraviesa un problema ambiental muy crítico. Uno de los recursos naturales más imprescindibles para la existencia de los seres vivos es el agua. Brindar agua limpia para una población universal, es uno de los mayores retos que se presenta hoy en día la sociedad (ONU, 2021). Asimismo, es propicio acotar que los seres humanos, han venido adquiriendo con el pasar de los años, un estilo de vida no correcto, no saludable respecto al vínculo que se tiene para con la naturaleza (agua, aire, suelo, flora, fauna, etc.), el cual se viene deteriorando cada vez más (TUHOLSKE ET AL., 2021). Añadiendo, mundialmente se originan un total de 271.000 millones de m<sup>3</sup> de aguas residuales entre domésticos e industriales, que comprende a 234 países que engloba al 100% de los habitantes en el mundo. De los cuales solo alcanzan un tratamiento correcto el 55.5%, es decir 150.000 millones de m<sup>3</sup> de agua (ONU, 2021).

Mundialmente el 100% de las aguas residuales generadas solo el 20% son tratadas, lo cual resulta preocupantes, debido a que alrededor del 80% son vertidos a los cuerpos de agua y suelo, sin recibir tratamiento alguno o un tratamiento adecuado (BANCO MUNDIAL, 2020). Asimismo, de acuerdo con el informe de la UNESCO (2023) menos del 50% de las aguas residuales son tratadas en toda América Latina.

En Perú, existen diversos problemas ambientales, siendo primordialmente preocupante el tratamiento de las aguas residuales, cuyo procedimiento inapropiado conduce a la afectación de la flora, fauna, agua, suelo, etc., y el deterioro de la salud humana. Existen aguas servidas originadas en los domicilios e industrias, los cuales son conducidas de manera directa al alcantarillado o a cuerpos de agua. Específicamente en la ciudad de Lima, se descargan sin recibir un tratamiento previo un total de 90 155 194 m<sup>3</sup> de agua residuales (INEI, 2022). También, es importante mencionar que otro de los factores que conllevan al inconveniente de esta situación ambiental, son las infraestructuras de plantas de tratamiento de aguas residuales

(PTAR), pues éstas no abastecen los volúmenes generados diariamente (PUCP, 2018).

Por ello, año a año se ha venido estudiando diferentes alternativas que permitan remover los contaminantes presentes en el agua residual, uno de ellos, es la electrocoagulación que es una tecnología que combina ventajas de la coagulación con la floculación y la electroquímica. En este proceso se usa la corriente eléctrica con el propósito de eliminar los contaminantes suspendidos que están presentes en el agua residual. Esta tecnología que comenzó a llamar la atención porque es una opción ecológica que es capaz de generar menor cantidad de lodos, no requiere de sustancias químicas; asimismo, no afecta la calidad del agua post tratamiento. Otra ventaja de esta tecnología es que sus electrodos son de bajo costo (TAHREEN, JAMI Y ALI, 2020).

En esa línea, de acuerdo con el estudio realizado por GENESIS (2019) logró evidenciar que empresas de gas y petróleo vienen empleando la electrocoagulación como parte del tratamiento de sus aguas residuales, debido a que este método ha venido ofreciendo una solución. Es importante mencionar que, esta industria del 100% de agua que usa para sus procesos el 70 a 90% se convierten a agua residual. Por ello, es que consideraron que la integración de la electrocoagulación como parte del tratamiento de sus aguas residuales, trayéndoles muchos beneficios, tanto económicos como ambientales.

En consecuencia, se ha observado en la empresa pesquera una falta de cumplimiento de las normas peruanas de Límites Máximos Permisibles en el tratamiento de sus aguas residuales, lo cual ha dado lugar a multas y ha generado daños al medio ambiente. Por consiguiente, surge la idea de investigar la electrocoagulación como una opción para el tratamiento de aguas residuales en dicha empresa pesquera.

En ese sentido, se propone como **problema general** ¿Cuál es el efecto de la electrocoagulación en la remoción de contaminaste del agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima, 2023? y como

**problemas específicos:** i) ¿Cuál es la intensidad de corriente óptima en la remoción de contaminantes del agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima, 2023?, ii) ¿Cuál es el tiempo óptimo en la remoción de contaminantes del agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima, 2023?, iii) ¿Cuáles son las características del agua residual industrial antes y después de la electrocoagulación de la empresa pesquera de Lima 2023? y iv) ¿Cuál es el porcentaje de remoción de contaminantes después de aplicar la electrocoagulación en el agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima, 2023?

La justificación teórica de este estudio se fundamenta en la necesidad de ampliar el conocimiento existente en el campo de la electrocoagulación como método de tratamiento de aguas. A través de una revisión exhaustiva de la literatura científica actual, se evidencia la relevancia y las ventajas de la electrocoagulación en la eliminación de contaminantes presentes en el agua.

La justificación metodológica de este estudio se fundamenta en la imperiosa necesidad de adoptar un enfoque riguroso y sistemático para evaluar minuciosamente la efectividad de la técnica de electrocoagulación en el tratamiento de aguas contaminadas. El diseño experimental se caracterizó por una cuidadosa selección de los parámetros operativos más adecuados, así como por la aplicación de técnicas de muestreo representativas. Por consiguiente, se enfoca en la ineludible necesidad de recurrir a un enfoque científico y estandarizado para recopilar datos fidedignos y derivar conclusiones sólidas que sustenten la viabilidad y eficacia de la electrocoagulación como método de tratamiento de aguas.

Desde el punto de vista social, la presente investigación se justifica en base a la necesidad de recuperar ecosistemas degradados mediante el tratamiento de aguas residuales, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población. Esto se logra a través de la implementación del experimento propuesto y su correcta operatividad.

Desde el punto de vista económico, la presente investigación contribuye de manera eficiente, ya que los costos de implementación de las técnicas utilizadas no representaron mayores gastos en comparación con la valoración del recurso hídrico recuperado y los servicios ambientales que éste proporcionará en última instancia.

Desde un punto de vista ambiental, el estudio de la electrocoagulación permitió el tratamiento adecuado de las aguas residuales, lo que a su vez garantizó contar con recursos hídricos de calidad y en cantidad suficiente para ser incorporados en ecosistemas que carecen del recurso agua. En el futuro, la electrocoagulación se convertirá en una solución efectiva para la remoción de contaminantes, lo cual contribuirá significativamente a la protección de los recursos hídricos y a la preservación de los ecosistemas acuáticos.

Agregando a ello, el **objetivo general** planteado es: Determinar el efecto de la electrocoagulación en la remoción de contaminantes del agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima, 2023, y como **objetivos específicos**: i) Determinar la intensidad de corriente óptima en la remoción de contaminantes del agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima, 2023, ii) Determinar el tiempo óptimo en la remoción de contaminantes del agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima, 2023, iii) Determinar las características del agua residual industrial antes y después de la electrocoagulación de la empresa pesquera de Lima 2023 y iv) Determinar el porcentaje de remoción de contaminantes después de aplicar la electrocoagulación en el agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima, 2023.

Finalmente se formula la **hipótesis general**: Existe un efecto positivo de la electrocoagulación en la remoción de contaminantes del agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima, 2023, y como **hipótesis específicas**: i) La intensidad de corriente óptima en la remoción de los contaminantes del agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima, 2023 es de 20 Amperios, ii) El tiempo óptimo para la remoción de

contaminantes del agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima, 2023 es de 90 minutos, iii) Las aguas residuales de la empresa pesquera de Lima disminuirán sus características finales después de aplicar la electrocoagulación, 2023 y iv) Existe un porcentaje alto de remoción (80 - 90%) de contaminantes después de aplicar la electrocoagulación en el agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima, 2023.

## II. MARCO TEÓRICO

Para el desarrollo de la investigación, se han considerado estudios de ámbito regional, nacional e internacional. Estas fuentes proporcionarán un entendimiento amplio de las variables y permitirán contrastar los hallazgos obtenidos en el presente estudio.

En el estudio realizado por EBBA et al. (2022) se llevó a cabo la electrocoagulación para tratar aguas residuales: el estudio fue experimental donde se consideró factores como la intensidad, la distancia de los electrodos, el pH y el tiempo; asimismo, emplearon la metodología de superficie respuesta con el propósito de maximizar el rendimiento. Los investigadores lograron determinar que para el parámetro de DQO se removi6 en un 95.28%; la turbidez en un 83.33% a 0.09 A en 30 minutos. Como conclusión se obtuvo, de que el proceso de electrocoagulación es capaz de eliminar los contaminantes presentes en las aguas residuales.

OKTIAWAN et al. (2021) realizaron una investigación donde se propusieron determinar el efecto de la intensidad de corriente en el proceso de electrocoagulación mediante el uso de electrodos de hierro y aluminio con la finalidad de remover contaminantes como el SST y DQO, presentes en las aguas residuales. Para ello, los investigadores emplearon la metodología científica experimental donde emplearon la variación de fuerza de 1, 2 y 3 Amperios; además, los tiempos analizados fueron 17, 22, 27, 32, 37 y 42 minutos. el equipo usado consistió en un reactor de electrocoagulación de dimensiones de 18, 6 y 10 cm. Gracias a este diseño, lograron evidenciar que la remoción del DQO a los 27 minutos y a una intensidad de corriente de 2A, fue de 95%; el SST de 94%. Los estudiosos, concluyeron que la electrocoagulación tiene un efecto positivo en la remoción de contaminantes como el SST y el DQO.

GASMI et al. (2022) elaboraron un artículo científico en el cual se propusieron comparar la electrocoagulación con la coagulación química; para ello, emplearon la metodología de nivel explicativo con diseño experimental; donde analizaron los parámetros de DQO, la turbidez y el color presentes en

el agua residual industrial; para ello se tuvo en cuenta el tiempo, el voltaje, esto para la evaluación de la electrocoagulación y para la evaluación de la coagulación química se tuvo en cuenta la metodología superficie respuesta. Los resultados fueron que, para el parámetro de DQO, color y turbidez se llegó a remover en 63%, 99%, 96.31% respectivamente, en un tiempo de 36 minutos con una intensidad de 4V; además, los resultados para el tratamiento con coagulantes químicos fueron de 54%, 96% y 93% de eficiencia de remoción, para los parámetros de DQO, color y turbidez, respectivamente. La conclusión a la que llegaron fue que, la tecnología de EC es importante para garantizar un vertimiento seguro.

OLMOS y MONCALEANO (2021) en su investigación tuvo como finalidad fabricar una celda de electrocoagulación con el objetivo de brindar tratamiento a dichas aguas (servidas) generadas en el rubro textil. El diseño metodológico se enmarcó en primera instancia a la revisión teórica, se estableció parámetros críticos para la celda, se diseñó y elaboró dicha celda, se aplicó un diseño experimental, se ejecutó la preparación de la muestra (agua residual), se seleccionó las condiciones precisas de celda, se realizó la experimentación y como proceso último se determinó la eficiencia de celda de electrocoagulación. Los resultados indicaron que una de las mejores condiciones fue el ensayo 9, lo cual desarrolló un periodo de retención de 30 minutos, intensidad de corriente de valor de 5 Amperios, área superficial de contacto de 600 cm<sup>2</sup>. De igual modo, se logró obtener un 97.94% de remoción de turbiedad, 88.67% para DQO y se redujo la conductividad, otorgando que aquella muestra cumpla con las características fisicoquímicos permisibles para su vertimiento. Esta investigación concluye que la densidad corriente y periodo de retención, vienen a ser las variables más importantes tras el diseño de celda de electrocoagulación, puesto que, inciden directamente en la producción de hidróxido de metano que tienen por función de coagulantes en la solución (remoción de contaminantes).

RODRÍGUEZ et al. (2021) en su investigación se propusieron analizar la eficacia del método de electrocoagulación para brindar un tratamiento a las aguas servidas complejas generada en el sector industrial, cárnica y lácticos.

La sistemática fue mediante el muestreo (efluente láctico y cárnicos) e identificación de dichas aguas servidas, siguiendo el proceso de toma de muestras del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Los resultados radican que 13 electrodos en paralelo fue el procedimiento óptimo del método de electrocoagulación, para dichas aguas residuales. Se logró una remoción DQO y turbidez con una elevada eficacia de disminución, 96%, 95% y 94% correspondientemente. Opuesto a ello, la electrocoagulación incrementó los valores de conductividad eléctrica en  $2785 \mu\text{S cm}^{-1}$ , corriente 11.6 A. Esta investigación concluye que el método de electrocoagulación demostró una eficiencia elevada con 13 electrodos en un periodo de 60 minutos de retención en el tratamiento de aquellas aguas servidas.

En el ámbito nacional se tiene a la investigación de, RIVAS Y ROJAS (2021) elaboraron la investigación donde se propusieron establecer la incidencia que posee sobre la calidad del agua residual de la planta de tratamiento de aguas (servidas) San José. Del mismo modo, desarrollar dicho método y evaluar la calidad del agua tras el análisis realizado. El ámbito metodológico de la investigación, se basa en un diseño experimental (se diseñó y construyó una celda de electrocoagulación). Los parámetros que fueron analizados fueron: temperatura, pH, conductividad, turbidez, sólidos sedimentables, DQO,  $\text{DBO}_5$ , aceites y grasas y coliformes termo tolerantes. Los resultados obtenidos establecen que, se visualizaron que tratamiento desarrollado (preliminar y posterior), la reducción primordial de las partículas en suspensión del agua residual (componente orgánico), también la luminosidad del vertido y se redujo los olores fétidos. Asimismo, se hallaron cambios en los parámetros físicos, químicos y biológicos analizados. Este proyecto concluye que la incorporación de organismos (microbiano) en las aguas servidas de la planta de tratamiento de aguas residuales - San José, incrementa aquellos parámetros analizados, 30 días después de su aplicación. Aquellos valores fueron: pH (valor de 9.16), turbiedad (valor de 2.10 NTU), DQO (valor de 80.9 mg/L), coliformes termo tolerantes (valor de 0NMP). La reducción de los contaminantes fue de aproximadamente de 96%.

MORALES et al. (2022) en su artículo científico se propusieron optimizar el proceso de electrocoagulación usando electrodos de Aluminio para tratamiento de aguas residuales. El método empleado fue el científico de diseño experimental, que inicialmente se caracterizó el agua residual, asimismo, se creó una celda de electrocoagulación con electrodos de aluminio; además emplearon la metodología de superficie respuesta y un diseño compuesto. Los resultados fueron que, se logró reducir la turbidez en un 99.27% a un tiempo de 11.38 minutos y una intensidad de 3.26A; además, el DQO se removi6 en un 70.83%. Por otra parte, al agregar sal de electrolito, se logr6 remover al 100% todos los parámetros. La conclusión a la que llegaron los investigadores fue que, el costo de la energía usada es bajos, por lo que este tratamiento es una opción adecuada para la remoción de contaminantes del agua residual.

PÉREZ (2018) realizó una investigación donde se propuso analizar el empleo de la electrocoagulación que minimizará el nivel de contaminantes de la PTAR Ajeper. La metodología o diseño de este estudio fue el experimental; puesto que, se analizaron a través de un laboratorio las peculiaridades de las aguas servidas. Cabe detallar que el método que se usó para obtener los datos fue el de la observación, recaudando los datos mediante una ficha de control. Los resultados fueron que, tras la ejecución del tratamiento, los parámetros físicos y químicos hallados, establecen una disminución alta que se enmarcan en el rango de valores máximos admisibles. Obteniendo una DQO (58.18%), SST (88.22%), DBO<sub>5</sub> (87.7%). Este proyecto concluye que el método de electrocoagulación alcanzó minimizar la contaminación tanto físico y químicos del efluente, reduciendo casi en un 90% respecto a sus valores preliminares, alcanzando que aquella agua se halle en cumplimiento a los valores máximos admisibles.

JAUREGUI y MELO (2020) realizaron una tesis en la cual se propusieron minimizar o eliminar las impurezas presentes en las aguas residuales (minimizar el grado de pH, turbiedad, Demanda Biológica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno) de la PTAR Covicorti, a través de la electrocoagulación. La metodología empleada fue tipo de tesis cuantitativa,

experimental. Se uso la técnica de observación y una ficha de observación (laboratorio) en la recaudación de datos. Los resultados establecieron que la turbidez logro disminuir en un periodo de 40 minutos, puesto que se evaluó que la alcanzar a 60 minutos se vuelve inconsistente, en un periodo de 20 minutos alcanza disminuir, pero de un modo no significativo, en torno a ello mediante la estadística se optó que el periodo óptimo de eliminación es de 40 minutos. En la Demanda Biológica de Oxigeno no se hallaron resultados pues tras aplicar las soluciones se observó que la muestra se tornaba lechosa indicando que no existía oxigeno por lo cual no fue indispensable pasar por el equipo el DBQ. Este estudio concluye que se alcanzó de manera óptima eliminar los contaminantes de las aguas servidas de la PTAR, empleando el método de electrocoagulación. Igualmente, se obtuvieron referencias de los valores de turbidez y pH. El tiempo óptimo de la electrocoagulación es de 40 minutos.

NAVARRO (2022) diseñó una investigación con el propósito de establecer el periodo de tratamiento de un método de electrocoagulación con el objetivo de minimizar la DBO y DQO de los efluentes originados en la PTARI. La metodología fue de tipo de investigación aplicada, de diseño experimental con intervención, pues se manipulará de manera intencional la variable independiente, siendo el enfoque de estudio cuantitativo. Los resultados obtenidos destacaron que inicialmente se analizó la DBO<sub>5</sub> y DQO, también parámetros de conductividad, pH y T°, a través de la inserción de electrodos (material de aluminio), en un periodo de 35 y voltaje de 12V. Esta tesis concluye que se especificó que el periodo apropiado de tratamiento mediante electrocoagulación para reducción de DBO<sub>5</sub> y DQO, es de 20 minutos. Siendo 98% (DBO<sub>5</sub>) con valor de 40 ml/L y 98% con valor de 73 mg/L (DQO), cuyos valores se encuentran dentro de los valores máximos admisibles.

LAZO Y VILCA (2020) en su investigación tuvieron como finalidad determinar la máxima eficiencia para el tratamiento de aguas servidas generadas a través del método de electrocoagulación. La metodología fue experimental, se fundamenta en el diseño de una celda de electrocoagulación con una distribución volumétrica con tres regiones (superior, media e inferior).

Los resultados obtenidos respecto a los sólidos suspendidos totales (SST) y turbiedad, estipulan que las densidades de corriente por encima de los 92.9 A/m<sup>2</sup> brindan excelente rendimiento en la disminución de la turbidez y SST (tras cinco semanas de experimentación). Respecto a la conductividad, tras un análisis de cinco semanas, se determina que las muestras presentan una conductividad por encima de 900  $\mu$ S/cm y mientras más se incrementa la densidad de corriente, disminuye la conductividad. Esta tesis concluyó que se estableció que la eficiencia óptima de la densidad de corriente es de 116.7 A/cm<sup>2</sup>. Se observó que a medida que el tiempo de exposición se incrementaba la muestra variaba su coloración y turbiedad en el que el periodo de exposición se incrementaba, siendo el tiempo propicio de 25 minutos. Las pruebas de laboratorio determinan un descenso de sólidos suspendidos totales superiores al 95% y la turbidez alcanza eficiencias superiores a un 98%, la conductividad desciende a 475  $\mu$ S/cm.

INDIGOYEN (2019) realizó la investigación cuyo propósito fue ejecutar la remoción de las aguas residuales (industria láctica) específicamente de la materia orgánica, modificando la densidad de corriente y el periodo de resistencia mediante el método de electrocoagulación empleando la energía renovable (eólica). La metodología que se usó fue de tipo aplicada, de nivel explicativo y diseño experimental, para la obtención y tratamiento de datos se empleó el diseño factorial completo, con dos niveles y dos variables (independientes). Los resultados obtenidos hacen referencia a que en las tablas (10,11,12,13) concierne al porcentaje de eliminación de (materia orgánica), en el primer ensayo (N°1) se visualizó una cantidad menor de remoción de carga orgánica que en las pruebas de las muestras N°2 y N°3. Ello ya que en la primera prueba (N°1) se contaba con una carga orgánica menor. De igual modo, se infiere que los diferentes parámetros evaluados se encuentran relacionados entre ellos, debido a un elevado % de eliminación de Demanda Biológica de Oxígeno y a un elevado % de eliminación de Demanda Química de Oxígeno. Este proyecto concluye que se determinó de manera físico, químico y microbiano a las aguas servidas correspondientes, se especificó que el valor de 84,81 A/m<sup>2</sup> con un área global de contacto de

0.08253 m<sup>2</sup> y 7 A, es la densidad de corriente propicia del proceso; de igual modo, se estipuló que el periodo para el proceso de electrocoagulación en un periodo de 25 minutos con una distancia entre electrodos (1cm), potencia eléctrica optima de 70W. Finalmente, se detalló los porcentajes de remoción de parámetros (99.10%-aceites y grasas, 97.32% - DBO<sub>5</sub>, 97.81-DQO).

VELÁZQUEZ (2017) hizo una investigación cuyo propósito fue lograr la reducción de materia orgánica a través del método de electrocoagulación como proposición para el analizar la eficiencia de la reducción tratamiento elevado de aguas servidas originadas en el camal de la municipalidad, considerando para ello el periodo de retención, pH y voltaje. La metodología usada fue de tipo experimental, de nivel explicativo y diseño factorial simple. De mismo modo, la técnica de investigación, estuvo inmersa en revisión teórica, observación en campo y pruebas experimentales. El instrumento aplicado fue reportes, resúmenes, etc. Los resultados obtenidos infieren que en la prueba inicial se halló un pH de 7 (valor inicial) y 20 V de tensión de corriente eléctrica, en periodos de 30, 45 y 60 minutos, se alcanzó remociones de DQO (51.6%; 74.4% y 82.5%), DBO<sub>5</sub> (56.9%, 79.1% 87.4%), pH (8.8; 9.6; 10.4). En la segunda prueba se obtuvo el valor de 8 como pH y 20 V de tensión de corriente eléctrica, en periodos de 30, 45, 60 y 75 minutos, se alcanzó remociones de DQO (59.8%; 72.8%; 90.9%; 91.0%), DBO<sub>5</sub> (62.7%; 80.1%; 94%), pH (9.3; 10.4; 10.9; 11). En la tercera prueba se obtuvo el valor de 7 como pH y 30 V de tensión de corriente eléctrica, en periodos de 30, 40 y 60 minutos, se alcanzó remociones de DQO (55%; 73.5%; 86.6%), DBO<sub>5</sub> (61.6%; 81.1%; 90.6 %), pH (9.1; 10.5; 11.4). Es así, que para un grado elevado de confiabilidad se ejecutaron pruebas de mayor remoción con el valor de 8 como pH y 20 V de tensión de corriente eléctrica, en periodos de 30, 45, 60 y 75 minutos, se alcanzó remociones de DQO (50.5%; 77.3%; 89.9%, 90%), DBO<sub>5</sub> (59.2%; 82.7%; 93.2%, 93.4%), pH (9.6; 10.3; 11; 11.2). La segunda prueba con el valor de 8 como pH y 30 V de tensión de corriente eléctrica, en periodos de 30, 45, 60 minutos, se alcanzó remociones de DQO (45.5%; 73%; 87%), DBO<sub>5</sub> (54.6%; 79.4%; 90.5) y pH (9.5; 10.7; 11.4). Este proyecto concluye que el tratamiento en torno a la electrocoagulación, especificó una eficacia de 91%

de DQO y un 94% de DBO<sub>5</sub>, con un valor de pH de 8 y 20V de tensión de corriente eléctrica, iniciando con un pH neutro en lo que respecta a la muestra. También se considera que se debe desarrollar un tratamiento de aquellas aguas residuales.

Las aguas residuales se refieren a aquellas aguas que han sido previamente utilizadas en diversas actividades humanas, como el consumo en hogares, la actividad industrial o la práctica agrícola, y que presentan la presencia de sustancias contaminantes y residuos. Estas aguas pueden contener compuestos químicos, materia orgánica, microorganismos, nutrientes y otros componentes indeseables. Las fuentes de aguas residuales pueden ser variadas, abarcando desde el desagüe de viviendas hasta los procesos productivos de la industria o el drenaje de zonas urbanas. El tratamiento adecuado de las aguas residuales resulta crucial para preservar el equilibrio del medio ambiente y salvaguardar la salud (METCALF, 2010).

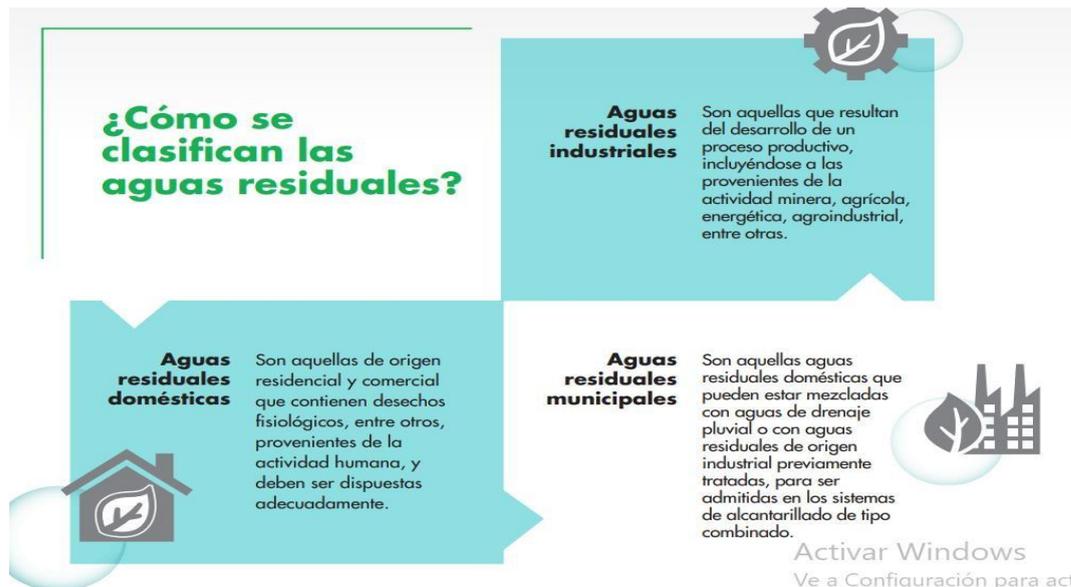
GHANGREKAR (2022) sostiene que las aguas residuales se originan mediante el uso que brinda el ser humano a los diversos trabajos que él ejecuta, ya sea de manera doméstica o industrial. Dado el caso en su mayoría las aguas provenientes de los domicilios, tienen características similares a las aguas procedentes del origen industrial. Ello hace referencia a la importancia de manejar apropiadamente los diversos procesos o cambiarlos, en busca de una mejora, teniendo el propósito de minimizar la contaminación del agua, cuidando de manera responsable nuestros recursos naturales.

Por otra parte, se establece que el agua residual posee tres características generales, las cuales se detallan a continuación (KUNST et al., 2002): Características físicas, la existencia de partículas suspendidas finas determina el color de un efluente, el cual debe ser purificado para su utilización futura. Características químicas, las aguas servidas, presentan concentraciones elevadas de pH, puesto que existen elevadas concentraciones de compuestos químicos. Características biológicas, el agua residual presenta presencia de origen biología por lo general su concentración tiende a ser menor.

De acuerdo con la OEFA (2014) las aguas residuales se clasifican en tres; a continuación, se detallan cada una de ellas; las aguas residuales industriales son las que provienen de la ejecución de un proceso (de carácter productivo), incorporando a las actividades agrícolas, energéticas, agroindustrial, minera, etc. (**Figura 1**). Las aguas residuales domésticas se originan en los domicilios y comercios, los cuales se conforman por desechos fisiológicos de origen de actividades humanas. Finalmente, las aguas residuales municipales se hallan vinculadas con el agua de origen industrial o drenaje pluvial.

Por su parte MOSTAFAIE et al. (2021) asevera que las aguas residuales son originadas en aquellos establecimientos como fábricas, industrias; estas aguas contienen aceites, ácidos y grasas, detergentes, etc., y productos ya sea de origen vegetal, animal o químico. Posee una composición muy diversa. En tanto, para DURAN et al. (2020) menciona que las aguas residuales domésticas se conforman generalmente de materia orgánica, ya sea de forma soluble o coloidal, igualmente se componen de sólidos suspendidos.

Es indispensable caracterizar el agua residual con el propósito de conocer el estado actual de estas; por ello, también se tiene que considerar los siguientes parámetros como los sólidos totales en suspensión (SST), el pH, la conductividad, el color, la temperatura, el DQO, la DBO<sub>5</sub> y otros, que al presentar altas concentraciones son indicativos de contaminación (QUISPE et al. 2020).



**Figura 1.** Como se clasifican las aguas residuales.

Fuente: OEFA (2014)

Los SST son originados por materiales en suspensión (limo, lodo, arcilla, materia inorgánica, materia orgánica, algas y diversos microorganismos), definida como aquel donde los rayos resplandecientes se aborden y se diseminan en distintas direcciones. Asimismo, el parámetro de conductividad es considerado como uno de los parámetros más significativos, la conductividad hace referencia al conjunto de iones existentes en las aguas servidas (MAQSOOD et al., 2023). Para su medición se utiliza el electrodo. La temperatura, afecta a los procesos de biodegradación, incide soluble, densidad y estabilidad (ácido y básico) de las aguas servidas. Además, DBO<sub>5</sub> (Demanda Bioquímica de Oxígeno). Se halla enmarcado en aquellos microorganismos existentes en las aguas servidas que son capaces de degradar los agentes tóxicos, mediante el consumo de oxígeno. Estableciéndose para ello, mantener la muestra (aguas residuales) por un periodo de 5 días, sin la presencia de aire, con una T° de 20°C. En tanto la DQO es superior a la DBO<sub>5</sub>, puesto que en la mayoría los compuestos orgánicos de dichas aguas, son biodegradables (no todos). Especialmente para las aguas residuales de ámbito municipal se halla un equilibrio de 2 a 1 de la DQO y DBO<sub>5</sub> (WIDYARANI et al., 2022).

El pH, comprende a la medida que establece el balance ácido y básico. Las Grasas y aceites son consideradas como perjudiciales y

corresponden ser eliminados de manera separada. La turbidez, da debido a la presencia de compuestos en suspensión, existentes en las aguas servidas, afecta el ingreso de la luz. Referentemente la turbiedad y SST, son considerándolos como el nivel en ello el agua disipa su claridad por la existencia de partículas en suspensión, ello quiere decir que mientras más contaminado o sucio se halle habrá una turbidez elevada. Los factores que se vinculan con ello son: sedimentos depositados en la profundidad, partículas en suspensión pertenecientes al suelo, descargas sin un previo tratamiento hacia los cuerpos de agua, escorrentía (EHALT et al., 2022).

Asimismo, es crucial considerar que la temperatura en el tratamiento de electrocoagulación puede influir en la eficiencia del método. A medida que la temperatura aumenta, se acelera la velocidad de las reacciones electroquímicas, lo que resulta en una mejora en la efectividad del proceso de coagulación, floculación y sedimentación de los contaminantes presentes en el agua o los efluentes. Por otra parte, la velocidad de las reacciones químicas y electroquímicas durante el tratamiento puede ser influenciada por la temperatura. A medida que la temperatura aumenta, se acelera la velocidad de las reacciones de oxidación, reducción y precipitación, lo que resulta en una mayor eficiencia en la eliminación de contaminantes (ALI et al., 2012).

En cuanto a la conductividad eléctrica, la supervisión de la conductividad eléctrica es crucial para el control y la adaptación del proceso de electrocoagulación. Al medir la conductividad eléctrica, se puede identificar la necesidad de ajustar la intensidad de corriente, la separación entre los electrodos y otros parámetros operativos. Esto facilita la optimización del proceso y asegura una eliminación efectiva de los contaminantes presentes en el agua residual industrial pesquera (HAMADA et al., 2018).

Por su parte, el nitrógeno y fósforo total; tanto el fósforo como el nitrógeno son elementos esenciales para el desarrollo de organismos, pero cuando están presentes en cantidades elevadas, pueden generar impactos ambientales. En el contexto de las aguas residuales industriales pesqueras, es común encontrar concentraciones altas de fósforo y nitrógeno debido a los

residuos orgánicos y subproductos generados durante el procesamiento de pescado. Estos nutrientes, al ser liberados en cuerpos de agua, pueden estimular el crecimiento excesivo de algas y provocar la eutrofización, generando desequilibrios en el ecosistema acuático. La electrocoagulación se destaca como una técnica altamente eficiente para eliminar nutrientes como el fósforo y el nitrógeno de las aguas residuales industriales provenientes de la industria pesquera. Mediante este proceso, los electrodos generan compuestos metálicos que facilitan la formación de precipitados y la adsorción de los nutrientes. Evaluar los niveles de fósforo y nitrógeno total resulta crucial para evaluar la efectividad de la electrocoagulación y asegurar una remoción exitosa de estos contaminantes (HAMADA et al., 2018).

Según PRODUCE (2008), las aguas residuales de origen industrial pesquero, después de ser sometidos a procesos de tratamiento, los desechos líquidos generados por la actividad pesquera aún presentan niveles significativos de aceites y grasas (AyG), sólidos en suspensión (SST) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>). Esto resulta en una contribución negativa a la degradación ambiental de los ecosistemas cercanos cuando se vierten en el mar.

En esa línea, las fases de procesamiento en la industria pesquera, que impactan en las características de los residuos líquidos, pueden variar dependiendo del tamaño y la eficiencia de cada unidad industrial, así como de las etapas de producción que abarcan la manipulación del producto, como la clasificación, la eliminación de impurezas de la superficie, el escalado, el fileteado, el corte de aletas, el secado, el salado, la congelación, el etiquetado, y otras más. También se deben considerar otros factores, como los tipos de pescado que se procesan, el sistema de suministro de agua utilizado, la cantidad de efluente generado y las concentraciones de DBO<sub>5</sub> y SST (CARRERA et al., 2019).

Desde la perspectiva de MANASA y MEHTA (2020) los contaminantes primordiales, en el ámbito residual, presentan un sinnúmero de parámetros y para su evaluación se hallan diversos métodos (cuantitativos y

cuantitativos) para establecer sus características tanto físicas como biológicas. Seguidamente se muestra en la **Tabla 1** algunos contaminantes comunes que están presentes en el agua residual (CUBA, 2020).

**Tabla 1**

*Primordiales contaminantes de las aguas residuales y sus efectos*

<b>Parámetros</b>	<b>Efectos</b>
Sólidos suspendidos	Brinda desarrollo al incremento anaeróbico y acumulación de lodo.
Patógeno	Existen patógenos tóxicos existentes en el agua, son transmisores de diversas enfermedades.
Nutrientes	Originan el incremento de la vida acuática (no requerida).
Metales (As,Cd,Cr,Cu, Hg, Ni, Pb,Zn, etc.)	Tóxicos, inhiben el tratamiento biológico de lodos residuales.
Materia orgánica biodegradable	Resisten los procedimientos habituales de tratamientos, poseen mal olor (fenoles, pesticidas, etc.)
Sólidos inorgánicos disueltos	Se componen de calcio, sodio y sulfatos.

Fuente: (UNESCO, 2017p. 55).

El Tratamiento de aguas residuales, hasta la actualidad, hay una serie y variedad de tratamientos de aguas residuales, ello se orienta en función a su finalidad. En base a las teorías abordadas, se dice que las aguas residuales (tratamiento) se da de la siguiente forma (niveles): tratamiento preliminar, tratamiento primario, tratamiento secundario, tratamiento avanzado o terciario. Para considerar alguna tecnología de tratamiento, es oportuno considerar que ésta se encuentre ligado a la protección de los recursos naturales. Empezando para su elección: áreas poco extensas, minimizar el empleo de insumos químicos, fomentar la producción de biocombustibles, reusar las aguas que ya fueron tratadas tal como se observa en la **Tabla 2** (MINAM, 2017, p.19).

**Tabla 2***Etapas del tratamiento de aguas residuales*

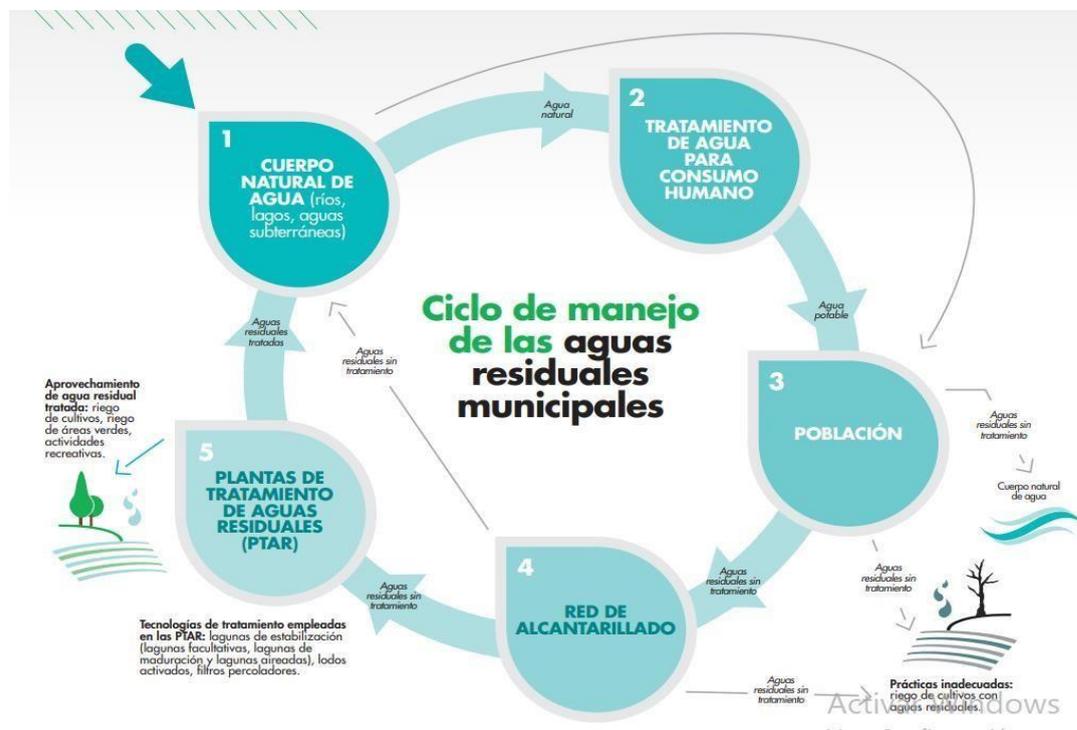
Pretratamiento	Se utilizan canales con rejas gruesas y finas (tamiz) y desarenadores. Su finalidad es la retención de los sólidos de gran tamaño (gruesos) y aquellos sólidos con una densidad superior al agua. Ello hace que los tratamientos posteriores sean favorables.
Tratamiento primario	En esta etapa se remueven materiales que se hallan en suspensión (con excepción de material coloidal o sustancias disueltas). De igual modo otorga la remoción de sólidos suspendidos totales (60%- 70%) y DBO (30%) que comprenden la fracción orgánica sedimentable existentes en el agua servida.
Tratamiento secundario	Proceso biológico donde prevalecen las reacciones bioquímicas, originadas por microorganismos eficaces. Se logra remover la DBO (50% Y 95%)
Tratamiento terciario	Establecido como la etapa terciaria. En ello se logra la remoción o eliminación del fósforo y nitrógeno.

Fuente: MINAM (2017) SINIA, p. 8.

Empleando las palabras de SETTE (2003), es necesario detallar, que para una elección sea óptima en las aguas residuales (tratamiento), dependen de algunos factores primordiales como las características del agua residual (materia en suspensión, pH, sustancias tóxicas, DBO<sub>5</sub>), la calidad del efluente (requerido), el costo y viabilidad de terreno (aquellos que sean económicamente factibles) y consideraciones de futuras ampliaciones (diseño de futuros tratamientos más sofisticados).

Añadiendo a ello, según OEFA (OEFA 2014), establece el período de manejo de las aguas servidas lo cual se conforma por cinco fases como primer factor se menciona al cuerpo natural de agua (formada por ríos, lagos y lagunas); tras ello la segunda fase comprende al tratamiento de agua para consumo humano (siendo un líquido elemento vital para la supervivencia humana); como tercera fase se considera al conjunto de habitantes que residen en un mismo lugar; cuarta fase a la red de alcantarillado (aguas residuales sin un procedimiento previo); como fase última se considera a las

PTAR (lagunas de estabilización, filtros percoladores y lodos activados) seguidamente se visualiza la **Figura 2**.



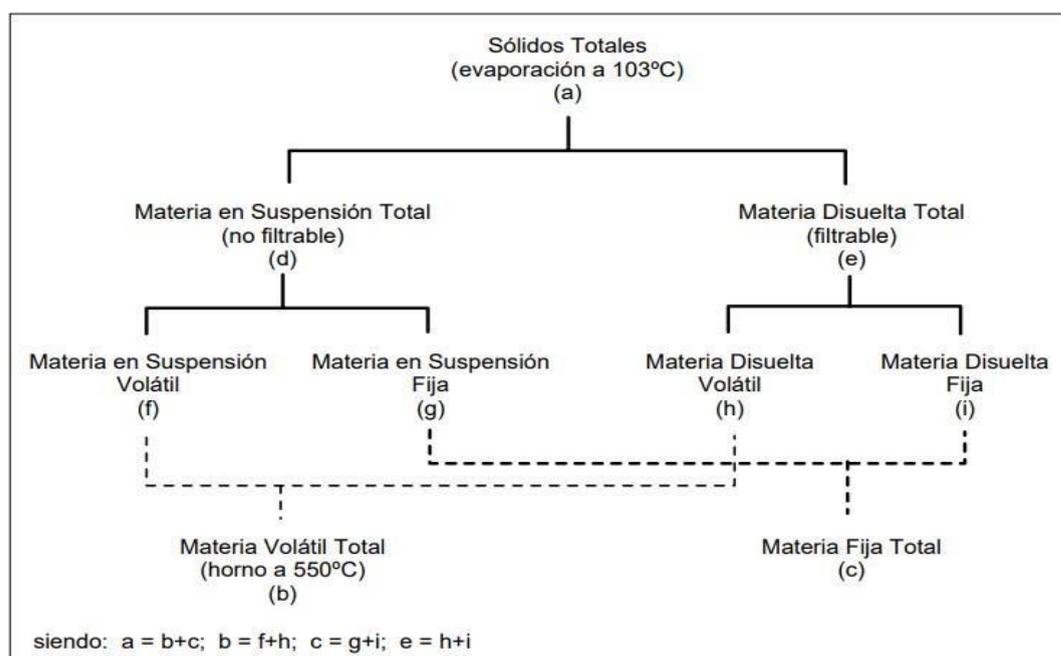
**Figura 2.** Como se clasifican las aguas residuales  
Fuente: OEFA (2014). p. 12.

AMAYA (2017) sostiene que las partículas sólidas existentes en el agua residual hacen referencia aquellas partículas están conformadas por materias flotantes, dispersión coloidal y en disolución, materias en suspensión. Aquellos residuos secos, se podrían catalogar en sólidos suspendidos y filtrantes. La porción filtrante se encuentra conformada por sólidos coloidales y disueltos (conformadas por moléculas orgánicas e inorgánicas e iones). Asimismo, aquellos sólidos con diámetro superior a 0.200 mm se le denomina arenas. Lo que corresponde a arcilla, limos y bacterias, son retenidos al filtrar el agua.

Del mismo modo HANSEN et al. (2021) detallan que el agua se encuentra conformado por sólidos coloidales (bacterias, virus, limo fino, partículas que dan origen al color, etc.), estos no se sedimentan si no fuese en tiempos alargados y su consecuencia se enmarca en el color y turbiedad de aquellas aguas sedimentadas no coaguladas. Cabe detallar que los sólidos

disueltos (materia inorgánica y orgánica) tienden a ser invisibles, no sedimentables, y generalmente ocasionan inconvenientes de color, sabor, olor y salud. Por lo que se busca su remoción y precipitación a través de métodos físico – químicos.

Por otro lado, teniendo en cuenta a DROSTE (2013) considera que los SST se clasifican de la siguiente manera tal como se aprecia en la **Figura 3**



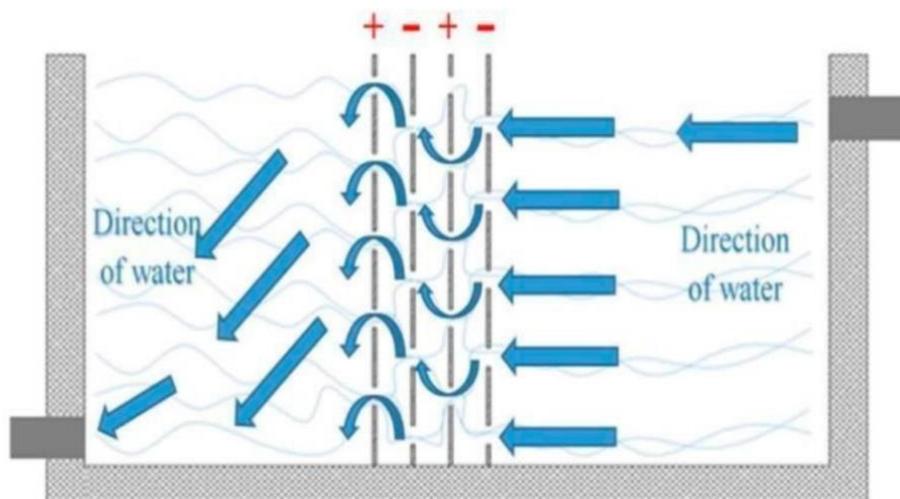
**Figura 3.** Clasificación de los distintos tipos de materia que contiene el agua residual

Fuente: DROSTE (2013) p. 4.

En relación con la variable de electrocoagulación se comprende a esta como un procedimiento donde se emplea la corriente eléctrica con el propósito de brindar un tratamiento y flocular impurezas, sin tener la necesidad u obligación de adicionar sustancias químicas. Cabe mencionar que, dicho método es ampliamente empleado con el propósito de ejecutar un tratamiento a las aguas servidas. Una de las principales acciones que realiza es la desestabilización de agentes tóxicos, que se hallan suspendidas en un entorno acuático, en ello se impulsa corriente eléctrica mediante placas de material de metal paralelas, siendo el hierro y el aluminio los más usados (BOINPALLY et al., 2023).

A juicio de YASRI et al. (2020) la electrocoagulación se ha convertido en un tratamiento ampliamente utilizado en la industria para el tratamiento de aguas residuales, debido a su eficacia comprobada. Este proceso electroquímico ha demostrado ser altamente eficiente, permitiendo así preservar la calidad del agua. Es fundamental destacar que la electrocoagulación se basa en la desestabilización de las impurezas suspendidas mediante la aplicación de carga eléctrica. Este método no solo purifica el agua, sino que también posibilita su reutilización, gracias a su seguridad y su asequibilidad.

También, LÓPEZ et al. (2021) mencionan que la electrocoagulación se refiere a la utilización de corriente eléctrica a través de electrodos en un medio acuoso, sin necesidad de sustancias químicas, con el objetivo de purificar el agua contaminada. La corriente o energía aplicada mediante los electrodos provoca la coagulación, eliminando las partículas más pequeñas. Además, en este proceso se emplean dos electrodos, conocidos como ánodos y cátodos, que generalmente están hechos de metal. Es importante destacar que la eficacia del reactor de electrocoagulación depende de diversos factores, como la densidad de corriente, el pH, el tipo y la cantidad de electrodos, así como el tamaño y la configuración del metal, ver **Figura 4**

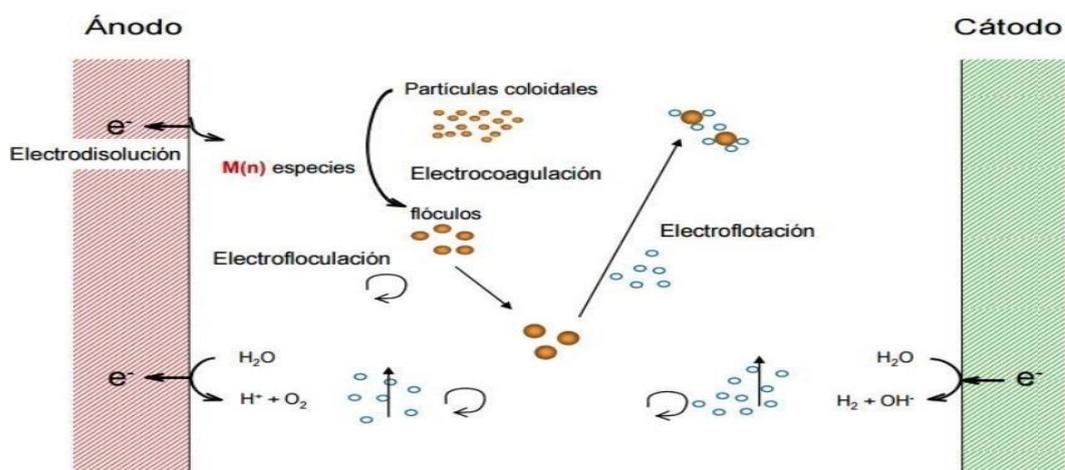


**Figura 4.** Sistema de electrocoagulación

Fuente: LÓPEZ et al. (2021) p. 16.

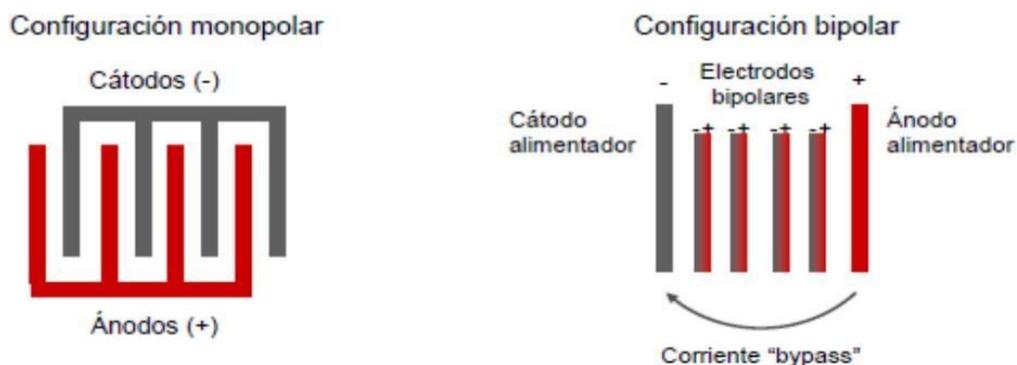
En cuanto a los principios de la electrocoagulación involucra la generación de coagulantes “in situ” disolviéndose eléctricamente en iones (hierro o aluminio), desde electrones ya sean de aluminio o hierro correspondientemente. En el desarrollo de dicho método la parte primordial del proceso, vienen a ser los electrodos; puesto que, en el cátodo se fomenta la liberación del hidrógeno del ánodo en el cual se originan los iones (material metálico). El hidrógeno liberado promueven a que las partículas emerjan a los exteriores del agua, los electrodos tienden a ponerse de manera bipolar o monopolar. Generalmente se posee electrodos de material de aluminio o hierro (MAMELKINA, 2020).

MOYA (2018) establece que la electrocoagulación es considerada como aquel método que conglomerar las superioridades de coagulación y procedimientos electroquímicos, con la finalidad de suprimir contaminantes que se hallan presentes en los cuerpos de agua. Es imprescindible detallar, que el fundamento de la electrocoagulación se basa en la inserción de corriente eléctrica mediante un par de electrodos hacia un sistema electrolítico, originando de este modo agentes desestabilizantes los cuales equilibre las cargas para la exclusión de los contaminantes, tal como se muestra en la **Figura 5** y **Figura 6**. Considerada también dicho método como una tecnología con un potencial elevado, pues supera inconvenientes de tecnología clásicas.



**Figura 5.** Procesos que intervienen en un reactor de electrocoagulación.

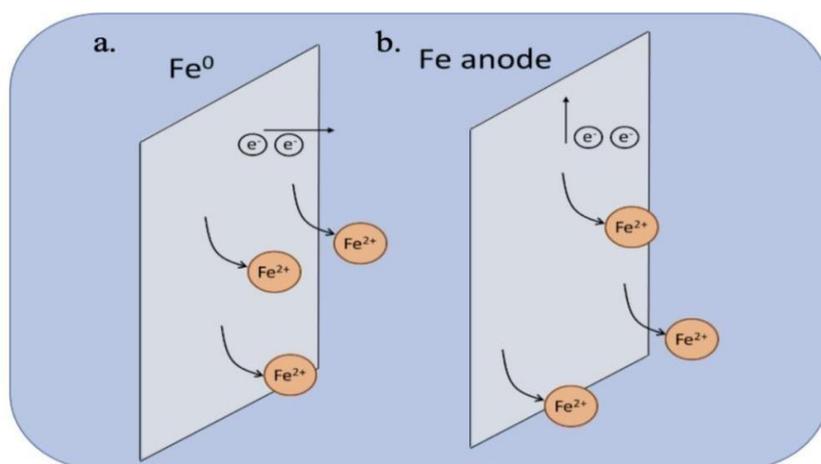
Fuente: MOYA (2018) p. 3.



**Figura 6.** Disposición de electrodos en configuración monopolar y bipolar.

Fuente: MOYA (2018) p. 4.

Por su parte, MAMELKINA (2020) menciona que la electrocoagulación se centra en los principios de coagulación y floculación, específicamente en un dispositivo llamado "reactor electrolítico", donde los electrodos desempeñan el papel de compuestos químicos al proporcionar iones que desestabilizan las partículas. En este sentido, se identifican tres etapas clave en el proceso de electrocoagulación: en primer lugar, se produce la formación de coágulos a través de la oxidación electrolítica del metal en el ánodo (véase **Figura 7**); luego, los contaminantes se desestabilizan; y finalmente, se generan flóculos mediante la agregación de partículas del contaminante, o bien, los componentes químicos presentes en la solución pueden adherirse a los flóculos



**Figura 7.** Esquema de reactor electrolítico

Fuente: MAMELKINA (2020) p. 35.

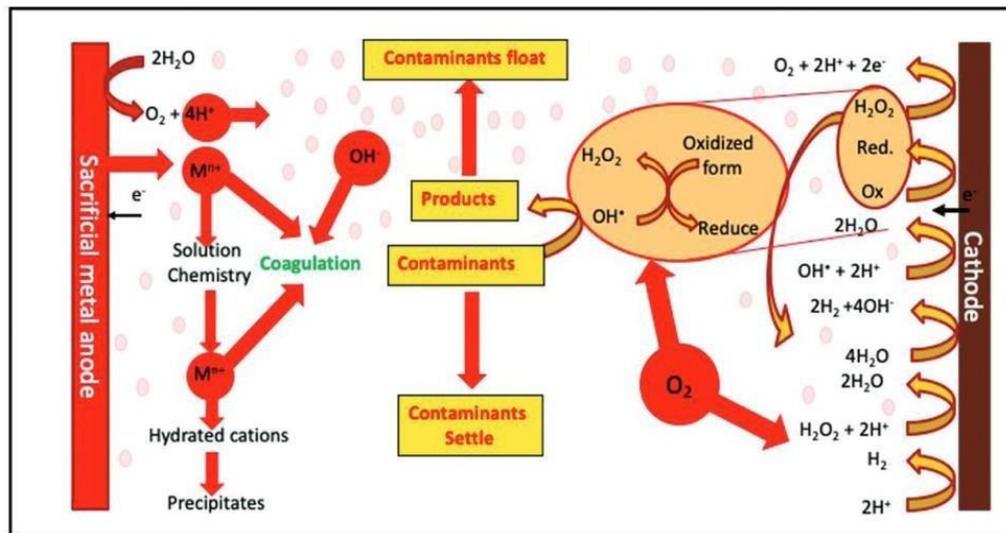
En esa línea, LÓPEZ et al. (2021) da a conocer que los mecanismos de la electrocoagulación cuentan procedimientos químicos y físicos que favorecen la eliminación de agentes tóxicos. Una variedad de reacciones se presenta en los electrodos los cuales producen iones (positivos y negativos) y el ánodo produce iones de metal. A dichos electrodos se les denomina como “electrodos de sacrificio”, ya que su composición (placa metálica) se diluye. Es así, que los iones generados desestabilizan aquellas cargas que conforman los elementos tóxicos existentes en el agua. Aquellas cargas se encuentren neutras, las partículas suspendidas se eliminan, otorgando la generación de agregados, originando el desarrollo de la coagulación. Aquellos que brindan electrodos (iones) liberan una serie de eliminación de contaminantes. Dicho ello, las partículas de contaminantes pueden presentar reacciones como son “hidrólisis, electrólisis, reacciones de ionización y producción de radicales libres”. Haciendo que se modifiquen las propiedades del agua (contaminantes), logrando de este modo su eliminación.

Añadiendo a lo anterior las tres fases para el proceso de electrocoagulación, son, la energía (corriente) aplicada (solución), produce iones en fase disuelta mediante la oxidación del ánodo. Aquellos iones (en fase disuelta) inhabilitan las cargas que poseen los agentes tóxicos, a través de potencias electrostáticas, agrupando a los coloides, con el propósito de posteriormente generar flóculos. La coagulación produce flóculos y éstos incorporan a los coloides (AGUILAR, 2018).

Igualmente, MOYA (2018) alude que globalmente, la electrocoagulación posee tres etapas, las cuales se dan de manera sucesiva, tales como: La generación de coagulantes debido a la “oxidación electrónica del electrodo de sacrificio”, desequilibrio de los agentes tóxicos existentes en el agua, ruptura de emulsiones y partículas suspendidas y la producción o generación de flóculos mediante amañamiento de las partículas de agentes tóxicos o concentración en el coagulante, como se aprecia en la **Figura 8**.

Existen factores que afecta la electrocoagulación, las cuales son: la densidad de corriente: Establece la proporción de iones libres ( $Al^{+3}$ ) mediante

electrodo; la presencia de NaCl, En este factor, la sal incrementa la conductividad eléctrica; el pH, se refleja aquel resultado en la eficacia del ánodo y se vincula con la disipación del hidróxido de metal; la temperatura, la eficiencia de la energía, aumenta en un principio hasta alcanzar a los 60°C (punto máximo), para después descender (SITTERLEY et al., 2020).



**Figura 8.** Mecanismo de electrocoagulación en agua contaminada

Fuente: YASRI et al. (2020) p. 170.

En tanto, ARANGO (2005) expresa que los componentes, que dañan al procedimiento de electrocoagulación, son diversos siendo los más predominantes; la densidad de corriente eléctrica, Puesto que establece la dosis del metal hacia la solución y también a la densidad de generación de burbujas y se comporta en proporción directa con respecto a la eliminación de agentes tóxicos. Presencia de NaCl, el cloruro de sodio (sal) empleado para incrementar la conductividad (la cual será procesada). La adición de sal baja el consumo de energía incrementa la conductividad. El pH de la solución, Influye sobre la eficiencia de la corriente, en la etapa de solubilidad (metal) para generar hidróxido. En las aguas residuales (alcalinas) el pH, tiende a disminuir en base a la composición del contaminante. La temperatura, pues, actúa de manera directamente proporcional, si la temperatura se incrementa, también la velocidad de reacción lo hará. Asimismo, se ha establecido la eficiencia en la corriente se acrecienta hasta alcanzar los 60°C, tras ello la T° empieza a bajar (ARANGO, 2012).

La aplicación de la electrocoagulación es diversa, tal como lo manifiesta LÓPEZ et al. (2021) la técnica de la electrocoagulación es apropiado para brindar tratamiento a los diversos tipos de aguas de las distintas industrias, tales como las “galvanoplastia, producción de papel, farmacéuticos, minera, industria alimentaria y agroindustria”. Asimismo, es optada para el tratamiento de las aguas servidas de lavanderías, textilería, domésticos, etc. Además, se añade que en otros estudios se ha alcanzado realizar una combinación de la electrocoagulación con el método de electro flotación, el cual permite el incremento de la remoción de contaminantes.

Asimismo, ARANGO (2005) sostiene que, la electrocoagulación es aplicable a diversos sectores de la industria, tales como: Textil, ganadero, pesquero, papeler, de alimentos, curtiembre, química, minera, galvanoplastia, aguas residuales domésticas. Cabe detallar que, dicho método fue experimentado en el tratamiento de aguas servidas elevadamente contaminadas, para ello se empleó electrodos de aluminio (2.5 A) y con periodos de maniobra (10 a 40 minutos), tras ello se demuestra que cuanto más elevado sean los tiempos de tratamiento, habrá una óptima eficiencia en la remoción de agentes contaminantes del agua (KIRZHNER, ZIMMELS Y SHRAIBER, 2008).

En diversos casos se combina el método de la electrocoagulación, usando el método de la flotación (electro flotación), con el fundamento de incrementar la eficiencia para la eliminación del contaminante. La electrocoagulación en su mayoría fue aplicado al tratamiento de aguas servidas en el rubro de la industria textil (lavanderías, tintorerías), logrando efectivamente la remoción de los contaminantes (UNIVERSIDAD DE ALICANTE, 2021). El rubro de la metalurgia, producción de cromo, curtiembre, fertilizante, emplean en el desarrollo de sus procesos elementos de elevada toxicidad. Siendo la electrocoagulación sumada a la electroflotación uno de los métodos más usados para la eliminación del cromo, es importante se tenga en consideración que la generación de óxido en el ánodo podría originar unacapa que no permita la fluidez de la corriente eléctrica. Afectando al proceso (MAYTA Y MAYTA, 2017).

En el estudio se considera como parte fundamental la definición de términos básicos; donde se mencionan a:

**Aguas residuales:** Aquellas que se originan de las diversas actividades que realiza el ser humano, ya sea de manera doméstica e industrial. Estas aguas al no ser tratadas correctamente deterioran los recursos naturales (CUBA, 2020).

**Aguas residuales industriales:** Producidas en establecimientos como fábricas, industrias, estas aguas se conforman por aceites, ácidos y grasas, detergentes, etc., y productos ya sea de origen vegetal, animal o químico (OEFA, 2014).

**Aguas residuales municipales:** Vinculadas con aguas del drenaje pluvial e industrial (OEFA, 2014).

**Cadena de custodia:** Instrumento primordial empleado en el monitoreo del agua (MINAM, 2014).

**Conductividad:** Cantidad de iones existentes en las aguas residuales. Para su medición se utiliza el electrodo (BAGHERZADEH et al., 2017).

**DBO<sub>5</sub>:** Aquellos microorganismos existentes en las aguas servidas que son capaces de degradar los agentes tóxicos, mediante el consumo de oxígeno. Para ello se debe mantener la muestra (aguas residuales) por un periodo de 5 días, fuera de la presencia de aire, en una habitación con 20°C (AGUILAR et al., 2023).

**DQO:** Considerada como la demanda bioquímica de oxígeno, la cual es superior a la DBO (AGUILAR et al., 2023).

**Eficiencia:** Es considerado como la capacidad de alcanzar resultados propuestos, con una mínima cantidad de recursos (ALEXANDER, 2009).

**Electrocoagulación:** Es comprendido como un procedimiento donde se emplea corriente eléctrica con la finalidad de brindar un tratamiento y flocular impurezas, sin la adición de sustancias químicas (BARRERA, BALDERAS Y BILYEU, 2018).

**Límite Máximo Permissible – LMP:** “Medida de concentración de los elementos, sustancias, parámetros físicos y químicos y biológicos que caracterizan a una emisión” (MINAM, 2017).

**Laboratorio acreditado:** Laboratorio que efectúa todos los requerimientos estipulados en la norma ISO 17025, y posee el requerimiento del Instituto Nacional de Calidad (INACAL, 2021).

**Muestra de agua:** Hace referencia a la fracción representativa de material a investigar, en ello se evalúan los parámetros utilizados para el estudio (MINAM, 2015).

**pH:** Dimensión que estipula la oscilación ácido y básico (WOODSIDE, 2022).

**Sólidos suspendidos totales:** Son aquellos materiales en suspensión (limo, lodo, arcilla, materia inorgánica, materia orgánica, algas y diversos microorganismos) existente en el agua (WOODSIDE, 2022).

**Temperatura:** Es el nivel de frío o calor de un cuerpo o ambiente (WOODSIDE, 2022).

**Turbidez:** Es cuando los rayos luminosos se aborden y se disemina en distintas direcciones (WOODSIDE, 2022).

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

##### *3.1.1. Tipo de investigación*

El estudio fue de tipo aplicada. Puesto que, para su realización se empleó estudios y conocimientos existentes, con el propósito fundamental de brindar soluciones a problemas inmediatos (PERICO et al., 2020). Igualmente, HERNÁNDEZ et al. (2014) aluden que este tipo de investigación se encuentra ligada al uso de conocimientos que ya existen, con la finalidad de resolver inconvenientes o problemas reales. Ello es coherente con lo que sostiene SÁNCHEZ et al. (2018) quienes mencionan que en este tipo de estudio se utilizan conocimientos científicos para alcanzar objetivos planteados. En ese sentido se empleó conocimiento teórico acerca de la electrocoagulación para la remoción de contaminantes del agua residual en una empresa pesquera. El desarrollo propicio del mismo dependió de un excelente resultado relacionado a la investigación.

##### *3.1.2. Diseño de investigación*

El estudio se enmarcó en el diseño experimental, diseño factorial 3x3. Cabe recalcar que en este tipo de diseños “cada uno de los niveles de cada factor independiente se combina con cada uno de los niveles de los demás, para así realizar todas las combinaciones posibles”. Todo ello origina que los experimentos logren una eficiencia máxima. Puesto que se puede brindar información de aquellos efectos de factores en concordancia a los niveles de otros. El diseño factorial 3k poseen una cantidad de factores k, que asumen tres niveles cada uno, por consecuencia una réplica (completa) de este tipo de diseño fue una cantidad o número de observaciones semejantes a 3k, ver **Tabla 3**.

**Tabla 3***Matriz de diseño para réplica completa de diseño 3<sup>2</sup>*

<b>Muestra</b>	<b>Intensidad de corriente(A)</b>			<b>Tiempo (min)</b>		
1	6	10	15	30	60	90
2	6	10	15	30	60	90
3	6	10	15	30	60	90

### 3.2. Variables y operacionalización de variables

Variable independiente. Es la electrocoagulación que consisten en un procedimiento donde se emplea la corriente eléctrica con el propósito de brindar un tratamiento y flocular impurezas, sin tener la necesidad u obligación de adicionar sustancias químicas (BOINPALLY et al., 2023).

Variable dependiente. Se tiene a la remoción de contaminantes del agua residual que consiste en un conjunto de procesos destinados a reducir o eliminar la presencia de compuestos y elementos dañinos que se encuentran en pequeñas cantidades en el agua residual (MORIN et al., 2022).

### 3.3. Población, muestra y muestreo

**3.3.1. Población:** Considerada como una agrupación de personas los cuales reúnen ciertas características necesarias para el desarrollo de la investigación (TRIOLA, 2009). HERNÁNDEZ et al. (2014) establecen que la población conforma aquel conjunto o conglomerado, donde todos los entes involucrados concuerdan con ciertas especificaciones. En la misma línea VENTURA (2017) determina a la población como una agrupación global a evaluar o analizar, el cual puede estar compuesto por elementos, objetos, etc. Para propósitos del presente estudio se consideró como población a las aguas residuales de una empresa pesquera.

**3.3.2. Muestra:** La muestra, es considerada como una parte o fracción de la localidad la cual es examinada o analizada con la finalidad de explorar y obtener resultados representativos. Por otro lado, HERNÁNDEZ et al. (2014) hace referencia que la muestra debe ser representativa y es considerada como un sub-grupo, del cual se recauda datos relevantes. Igualmente, VARA (2008) estipula que ésta muestra es un fragmento de la población el cual debe ser estudiada. En ese sentido en el presente estudio, las muestras fueron extraídas de las aguas residuales de una empresa pesquera de la región de Lima.

**3.3.3. Población:** Es imprescindible acotar que para dicho desarrollo se utilizó el “Protocolo para el monitoreo de efluentes de los establecimientos industriales pesqueros de consumo humano directo e indirecto” (RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 00271-2020-PRODUCE, 2020)

**3.3.4. Unidad de análisis:** Como unidad de análisis tenemos los parámetros siguientes: conductividad eléctrica, temperatura, pH, coliformes termo tolerantes, DBO<sub>5</sub>, DQO, aceites y grasas, SST, fósforo total, nitrógeno total.

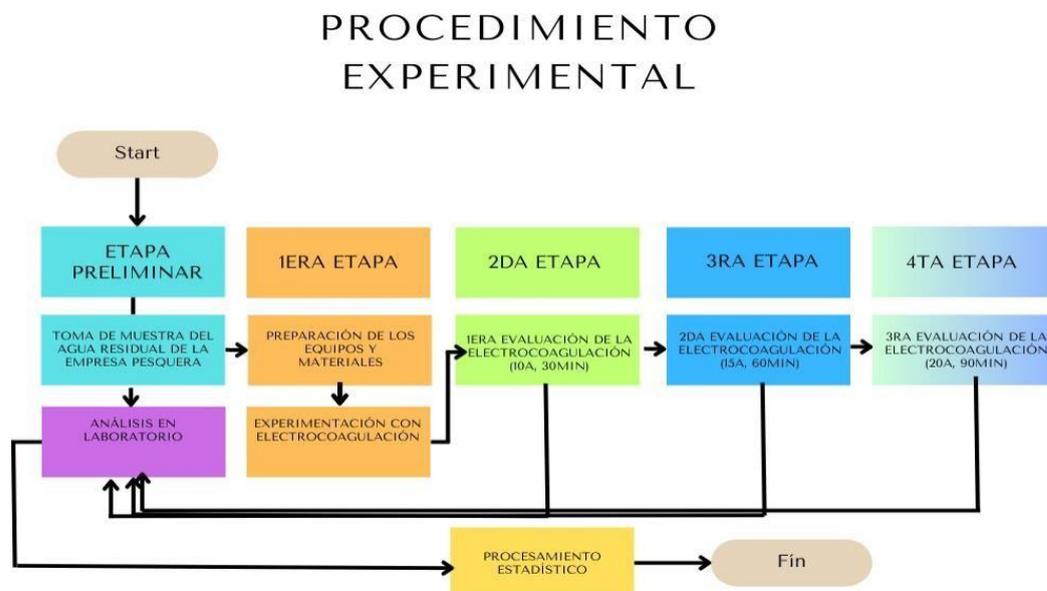
### 3.4. Técnicas e instrumento de recolección de datos

La técnica para esta investigación fue la observación. Observar es contemplar detenidamente un objeto, con el propósito de inferir y analizar a detalle el ámbito de la investigación, sus elementos y hechos suscitados. En este enfoque, el investigador observa y registra los comportamientos, eventos o procesos en un entorno específico y en un momento específico (HERNÁNDEZ et al., 2014).

La ficha de observación es un instrumento documental empleado en la recolección sistemática y estructurada de datos y detalles relacionados con una observación. Este instrumento proporciona a los investigadores la capacidad de obtener información precisa (HERNÁNDEZ et al., 2014). Por ello, en esta investigación se empleó las fichas de observación, así como la cadena de custodia que es indispensable para enviar las muestras al laboratorio.

### 3.5. Procedimientos

En la **Figura 9** se presenta la estructura para el desarrollo de la siguiente investigación la cual está diseñada en 5 etapas cuyas actividades se detallan a continuación.

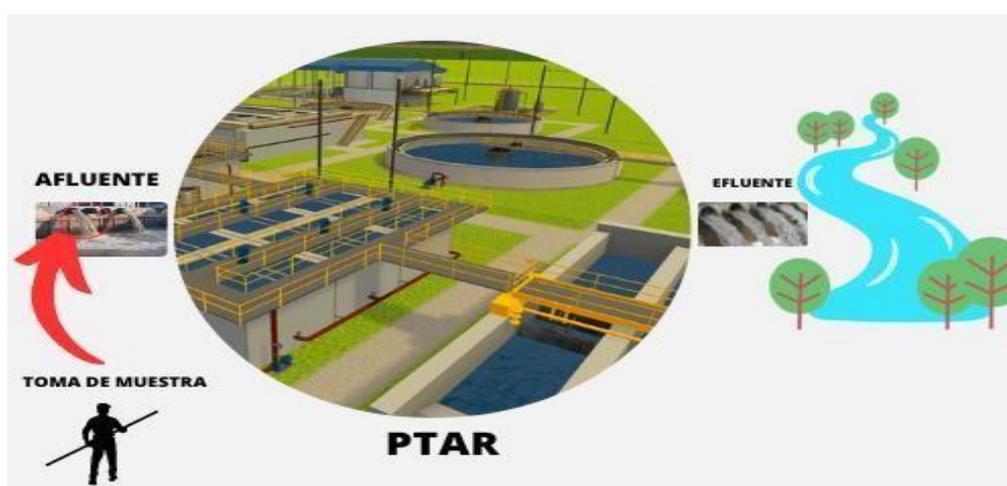


**Figura 9.** *Flujograma de la etapa de experimentación*

### 3.5.1. Etapa preliminar

En la etapa preliminar se recolectó las muestras de agua residual, para ello, en primera instancia se explicó a la empresa sobre la investigación que se realizó y con su autorización se recolectó las muestras. Así mismo, se determinaron el punto de muestreo del agua residual de la empresa pesquera ver **Figura 10**.

Luego, se evaluó las medidas de seguridad a tomar en cuenta, con la finalidad de evitar daños o accidentes al momento de la toma de muestra, para ello, solo un integrante de la investigación realizó la toma de muestra del agua residual de la empresa pesquera de la región de Lima. Las muestras se recolectaron en recipientes de acuerdo con el parámetro a analizar, ver **Tabla 4**. En esta etapa de campo, se llevó a cabo la toma de aguas correspondiente a las aguas residuales de acuerdo con el “Protocolo para el monitoreo de efluentes de los establecimientos industriales pesqueros de consumo humano directo e indirecto” (Resolución Ministerial N° 00271-2020- PRODUCE 2020). Donde, menciona que las aguas residuales se tienen que tomar en el afluente (antes del ingreso a la PTAR), por lo general, los frascos utilizados para recolectar muestras se enjuagan repetidamente con el agua en cuestión (a menos que el frasco contenga un conservante o se haya esterilizado para su análisis microbiológico) (Resolución Ministerial N° 00271-2020- PRODUCE 2020).



**Figura 10.** Identificación del punto de muestreo.

En cuanto para la toma de muestra para la experimentación se usaron un recipiente de capacidad de 3L (esta cantidad es de acuerdo con la capacidad de la celda de electrocoagulación) donde se realizó la siguiente conversión.

$$\text{Capacidad de la celda de EC} = 18\text{cm} \times 14.1\text{cm} \times 10.5\text{cm} = 2664.9 \text{ cm}^3$$

$$\text{Capacidad de la celda de EC} = 2664.9\text{cm}^3 = \frac{1\text{L}}{1000\text{cm}^3} = 2.669 \cong 3\text{L}$$

**Tabla 4**

*Recipiente para la toma de muestras*

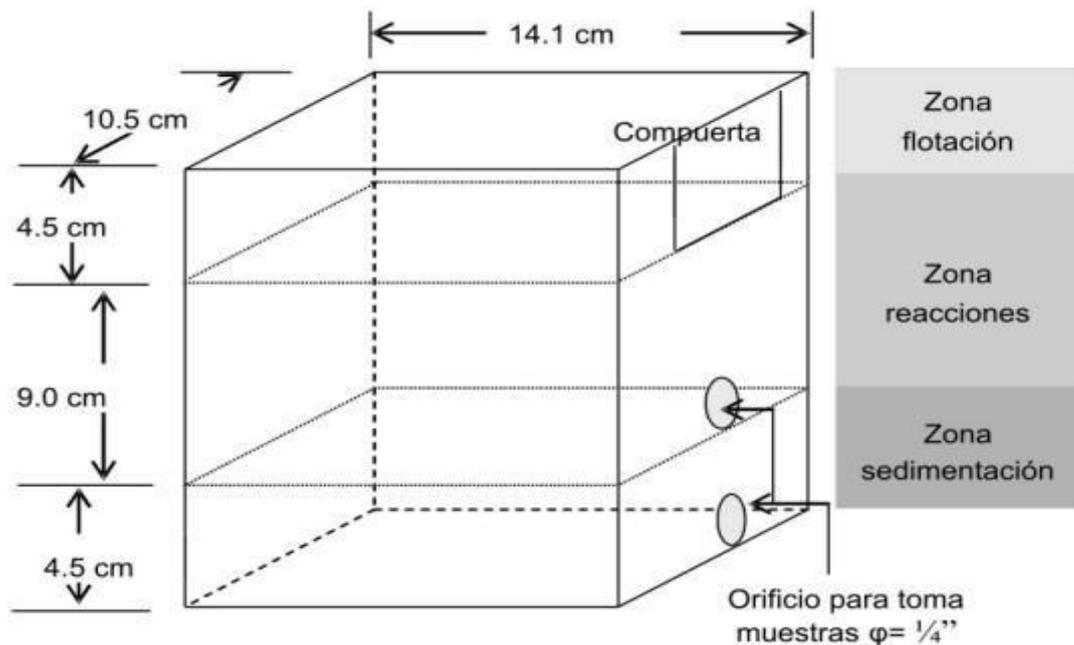
<b>Parámetro</b>	<b>Tipo de envase</b>	<b>Cantidad</b>
pH, C.E y Temperatura	Fascos de plástico con boca ancha (1L).	4
Coliformes termo tolerantes	Fascos de plástico con boca ancha (1L).	4
DBO <sub>5</sub>	Fascos de plástico con boca ancha (1L).	4
DQO	Fascos de plástico con boca ancha (1L).	4
Aceites y grasas	Fascos de vidrio ámbar de boca ancha (1L).	4
SST	Fascos de plástico con boca ancha (1L).	4
Fosforo total	Fascos de plástico con boca ancha (250 mL)	4
Nitrógeno total	Fascos de plástico con boca ancha (250 mL)	4
Experimentación	Bidón de plástico de 30L.	1

Luego de ello, se rotuló cada una de las muestras y se llenó la cadena de custodia. Las muestras fueron transportadas a laboratorio (debidamente acreditado por INACAL) para su posterior análisis respecto a los parámetros antes mencionados, como parte de la caracterización inicial del agua residual. El recipiente de 30 litros con la muestra se llevó al de electrocoagulación para la etapa experimental

### **3.5.2. Primera etapa**

Seguidamente se detallan los materiales y equipo que se emplearon

para el desarrollo de la investigación: los materiales y equipos a empleados para la ejecución del presente estudio fueron, tomado como referencia el estudio de RIVAS y ROJAS (2020, p. 19); asimismo, para el diseño de la celda se tuvo en cuenta a ARANGO (2007), que para la construcción empleó los siguientes materiales: Fuente de corriente eléctrica, electrodos de hierro(3) y aluminio(3), Amperímetro, Celda de vidrio de 18 de alto, 14.1 cm y 10.5 cm de largo, 2 soportes de electrodos (5 mm de 14 cm) , 6 cables tipo cocodrilo (3 rojos y 3 negros) ver **Figura 11**.



**Figura 11.** Celda de electrocoagulación.

Fuente: ARANGO (2007), p. 8.

Como se mencionó líneas arriba, la electrocoagulación es un procedimiento de tratamiento del agua que emplea energía eléctrica con el fin de eliminar sustancias nocivas y partículas en suspensión. A continuación, se detalla los pasos para el armado de la celda de electrocoagulación:

1. Recopilación de los materiales necesarios:

- Dos placas de metal conductivas (generalmente de hierro o aluminio) del mismo tamaño.
- Un contenedor resistente a los químicos y no conductor (como

un recipiente de vidrio o plástico).

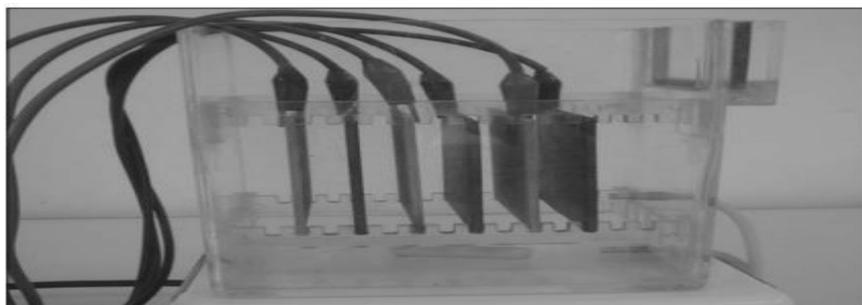
- Cables de conexión adecuados para la conexión eléctrica (tipo cocodrilo).
- Una fuente de alimentación eléctrica continua.

## 2. Limpieza y preparación de las placas de metal:

- Se aseguró de que las placas de metal estén limpias y libres de óxido u otras impurezas. Fue necesario, lijar suavemente la superficie para eliminar cualquier recubrimiento o corrosión.
- Lavar las placas con agua desionizada o destilada para eliminar cualquier residuo químico.

## 3. Montaje de la celda de electrocoagulación:

- Se colocó las dos placas de metal paralelas entre sí dentro del contenedor resistente a los químicos, dejando un espacio adecuado entre ellas. La separación típica recomendada por ARANGO (2007), es de aproximadamente 1 cm.
- Se aseguró de que las placas no entren en contacto directo entre sí para evitar cortocircuitos.
- Se fijó las placas en su lugar de manera que se mantengan estables durante el proceso, ver **Figura 12** .



**Figura 12.** Soporte de electrodos con electrodos y cables

Fuente: ARANGO (2007), p. 10.

#### 4. Conexión de los cables:

- Se conectó un cable a cada una de las placas de metal. Se aseguró de que los cables estén bien sujetos a las placas y que haya un buen contacto eléctrico.
- Se conectó el cable positivo (generalmente de color rojo) a la placa que actuó como ánodo, y el cable negativo (generalmente de color negro) a la placa que actuó como cátodo, tal como lo sugiere ARANGO (2007).

#### 5. Configuración de la fuente de alimentación:

- Se conectó los cables a la fuente de alimentación continua, siguiendo las instrucciones del fabricante.
- Se tuvo en cuenta de que la fuente de alimentación esté apagada antes de hacer cualquier conexión.

Una vez que hayas armado la celda de electrocoagulación siguiendo estos pasos, puedes llenar el contenedor con la muestra de agua a tratar. Al aplicar la corriente eléctrica a través de las placas de metal, se produjo la coagulación y precipitación de los contaminantes presentes en el agua. Ajustar los parámetros de corriente y tiempo de tratamiento de acuerdo con los requerimientos específicos de tu investigación

##### **3.5.3. Segunda etapa**

Se colocó el agua residual, en la celda hasta que pueda cubrir los electrodos, luego programar la fuente de alimentación a 6 A y con un cronómetro llevar el tiempo de 30 min; transcurrido el tiempo se procedió a tomar la muestra para realizar el análisis de los parámetros.

##### **3.5.4. Segunda etapa**

Se realizó la experimentación en la celda de electrocoagulación para ello se siguió los siguientes pasos: se colocó el agua residual, en la

celda hasta que pueda cubrir los electrodos, luego programar la fuente de alimentación a 10 A y con un cronómetro llevar el tiempo de 60 min; transcurrido el tiempo se procedió a tomar la muestra para realizar el análisis de los parámetros.

### **3.5.5. Cuarta etapa**

Se realizó la experimentación en la celda de electrocoagulación para ello se siguió los siguientes pasos: se colocó el agua residual, en la celda hasta que pueda cubrir los electrodos, luego programar la fuente de alimentación a 15 A y con un cronómetro llevar el tiempo de 90 min; transcurrido el tiempo se procedió a tomar la muestra para realizar el análisis de los parámetros.

## **3.6. Método de análisis**

Para la ejecución del presente estudio se empleó tablas y figuras de frecuencias, programas informáticos tales como Excel, SPSS y Minitab para los resultados descriptivos e inferenciales.

Para el cálculo del porcentaje de remoción se empleó la siguiente fórmula:

$$\%Remoción = \frac{\text{concentracion inicial} - \text{concentracion final}}{\text{concentracion inicial}} \times 100 \quad (1)$$

En la etapa de gabinete se analizaron los resultados hallados en todo el proceso desarrollado anteriormente y se compararon con la normatividad ambiental vigente, Límites Máximos Permisible – LMP Industria de harina y aceite de pescado – Decreto Supremo N° 010-2008-PRODUCE (2008). Asimismo, se determinaron la eficiencia de la electrocoagulación aplicado a las aguas residuales colectadas de la empresa pesquera.

Para el análisis de datos del proyecto de investigación, se aplicó la estadística descriptiva. En este análisis, se utilizó la prueba Shapiro Willk para muestras menores a 30, con el fin de determinar si los datos presentaban una distribución normal. El valor obtenido es menor al 5%, lo que significa (p

> 0.05), se rechazaba la hipótesis nula, por tanto, se empleó la prueba de Wilcoxon.

### **3.7. Aspectos éticos**

El proyecto de investigación siguió las normas éticas de la universidad, incluyendo el respeto a la propiedad intelectual de los autores, según lo establecido en la RCU N° 0126-2017/UCV. Asimismo, se cumplieron con las disposiciones establecidas en la Resolución Rectoral N° 0089- 2019/UCV y el Reglamento de Investigación de la Universidad César Vallejo. Además, se verificó la originalidad del proyecto de investigación mediante la herramienta Turnitin, de acuerdo con la Disposición N° 7.4 de la Resolución de Vicerrectorado de Investigación N° 008-2017-VI/UCV. En tanto, se cumplieron rigurosamente todas las normativas y disposiciones éticas correspondientes para garantizar la integridad y originalidad del proyecto de investigación.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Parámetros analizados en laboratorio

**Tabla 5**

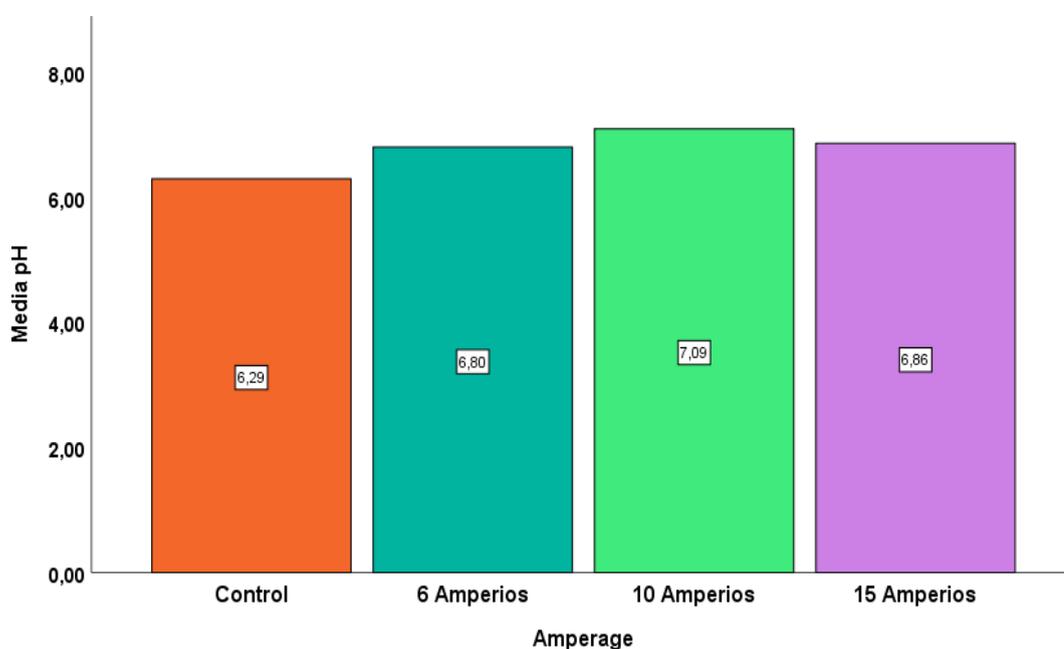
*Resultados de los parámetros analizados en laboratorio*

	Estadísticos descriptivos									
	N Estadístico	Mínimo Estadístico	Máximo Estadístico	Media Estadístico	Desv. Desviación Estadístico	Varianza Estadístico	Asimetría		Curtosis	
							Estadístico	Desv. Error	Estadístico	Desv. Error
pH	30	6.29	7.31	6.8507	.31432	.099	-.683	.427	-.496	.833
Temperatura	30	23.30	47.90	41.7100	7.99786	63.966	-1.323	.427	.589	.833
Conductividad	30	20.30	33.85	25.1050	4.51807	20.413	1.073	.427	-.496	.833
Oxígeno Disuelto	30	1.12	3.26	2.9223	.59420	.353	-2.756	.427	6.146	.833
Turbidez	30	139.00	972.00	317.5333	225.79495	50983.361	2.434	.427	5.051	.833
GA	30	31.14	103.70	53.7233	20.45397	418.365	1.275	.427	1.509	.833
SST	30	43.08	334.80	111.9140	79.59349	6335.123	2.288	.427	4.541	.833
DBO	30	339.00	867.00	438.1000	145.63449	21209.403	2.636	.427	5.741	.833
DQO	30	641.00	1020.00	779.8000	106.33467	11307.062	.680	.427	.636	.833
Fosforo	30	2.21	4.39	2.9660	.61042	.373	.872	.427	1.053	.833
Nitrógeno	30	3.24	7.14	4.6924	1.09253	1.194	.708	.427	.629	.833
<b>N válido (por lista)</b>	<b>30</b>									

En la **Tabla 5**, se observa que los valores promedio fueron los siguientes: pH 6.85, temperatura 41.71°C, conductividad 25.1mS/cm, oxígeno disuelto 2.92 mg/L, turbidez 317.5 NTU, aceite y grasas 53.72 mg/L, SST (sólidos suspendidos totales) 111.91 mg/L, DBO5 438.1 mg/L, DQO 779.8 mg/L, fósforo 2.96 mg/L, y nitrógeno con un valor medio de 4.69 mg/L.

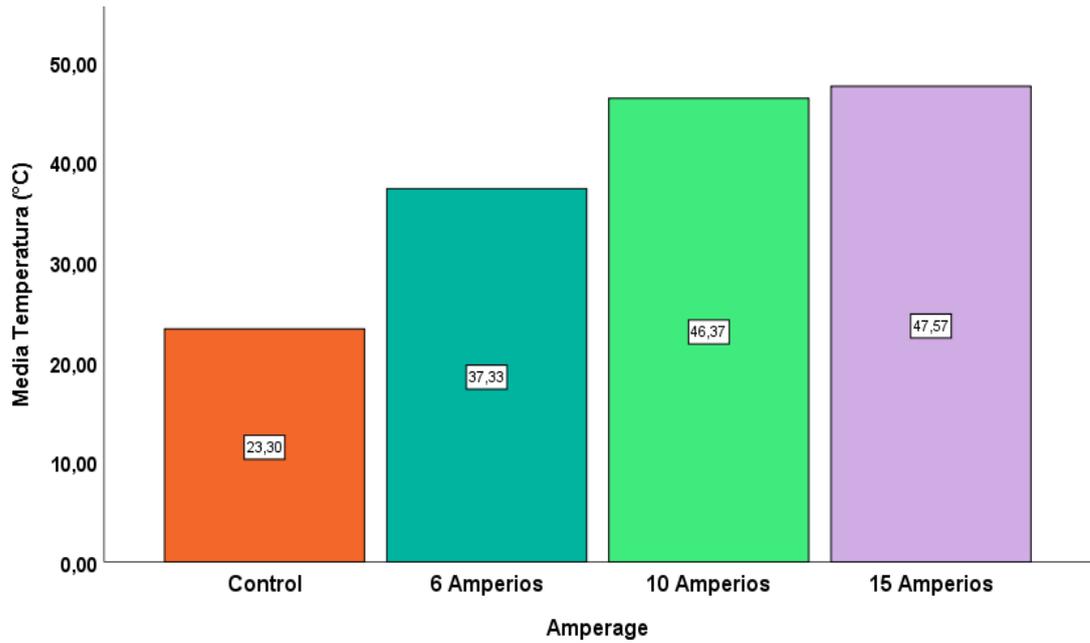
#### 4.1.1. Intensidad de corriente óptima en la remoción de contaminantes

A continuación, se presenta la intensidad de corriente óptima para la remoción de contaminantes en el agua residual industrial de una empresa pesquera en Lima. Para esto, se consideraron parámetros como el pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, turbidez, aceite y grasas, sólidos suspendidos totales (SST), demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días (DBO<sub>5</sub>), demanda química de oxígeno (DQO), fósforo y nitrógeno.



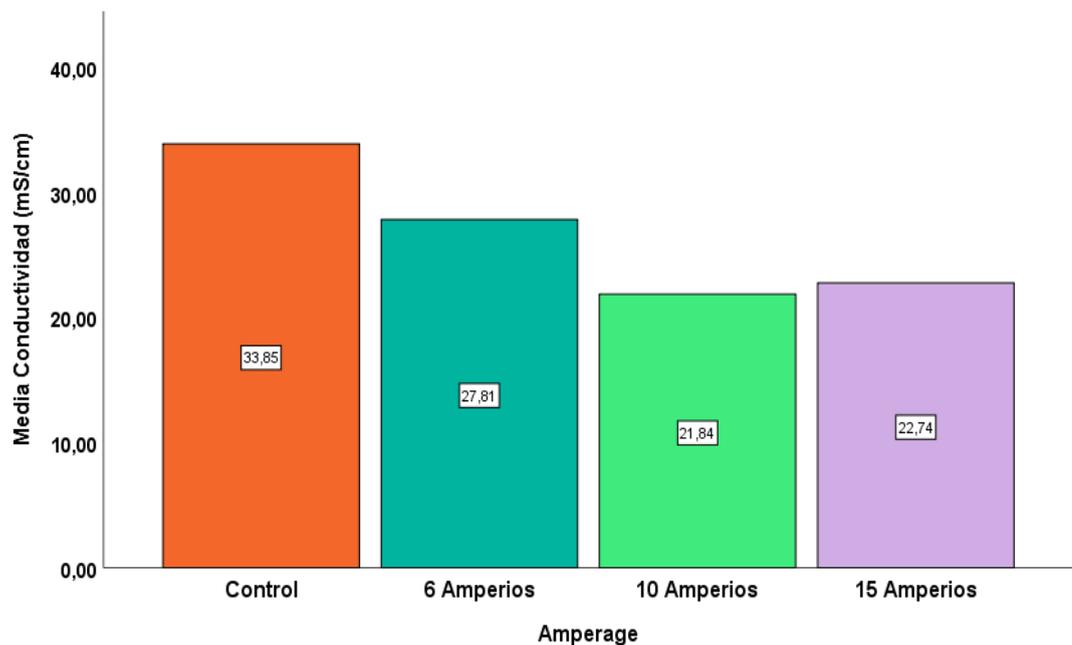
**Figura 13.** Intensidad de corriente óptima para el pH

De la **Figura 13** se observó que la intensidad óptima para el parámetro de pH se alcanzó cuando se suministró 10 amperios. Además, se destaca que al proporcionar una intensidad de corriente de 6 amperios se obtuvo un pH promedio de 6.8, mientras que, al suministrar 15 amperios, el valor de pH registrado fue de 6.86. En términos generales, estos resultados destacan la importancia de ajustar la corriente eléctrica para lograr condiciones específicas de acidez. La identificación de la intensidad óptima brinda información valiosa para optimizar el proceso de tratamiento y controlar eficientemente el pH del sistema.



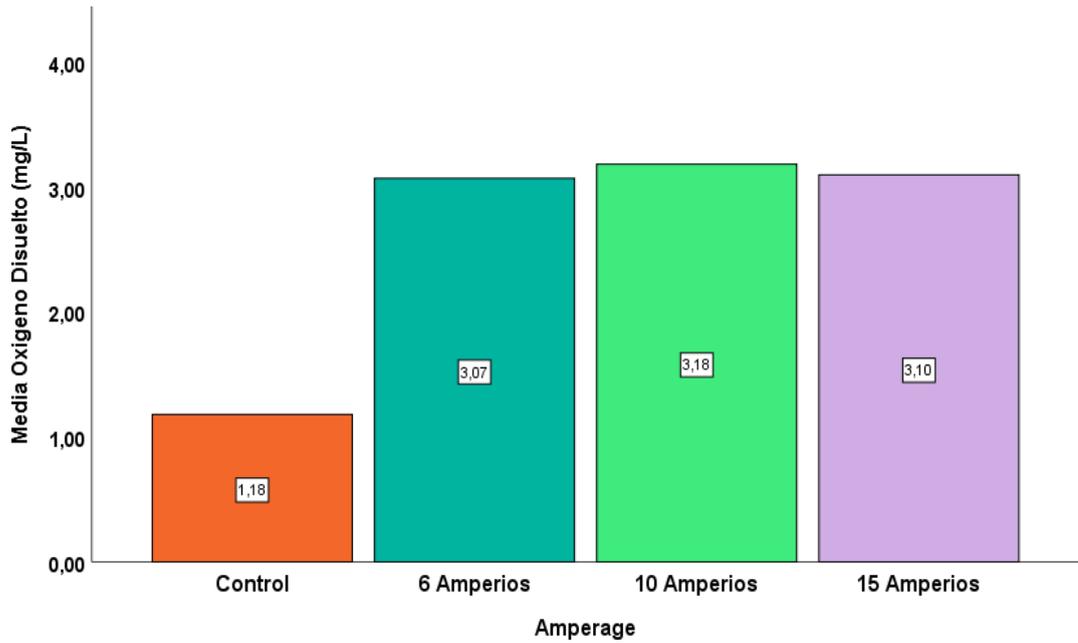
**Figura 14.** *Intensidad de corriente óptima para la Temperatura*

En base a la **Figura 14**, se evidenció que la intensidad óptima para el parámetro de temperatura se alcanzó cuando no se suministró corriente, ya que la temperatura del agua residual tiende a aumentar con la aplicación de corriente eléctrica. Al suministrar 6 amperios, la temperatura registrada fue de 37.33°C, mientras que con 10 amperios se alcanzó una temperatura de 46.37°C. Finalmente, al suministrar 15 amperios, la temperatura medida fue de 45.57°C. Estos resultados indican una clara influencia de la corriente eléctrica en la temperatura del agua residual. La ausencia de corriente parece ser la condición óptima para mantener la temperatura dentro de niveles deseados. Este hallazgo resalta la importancia de considerar cuidadosamente la intensidad de corriente en el control de la temperatura durante el tratamiento del agua residual



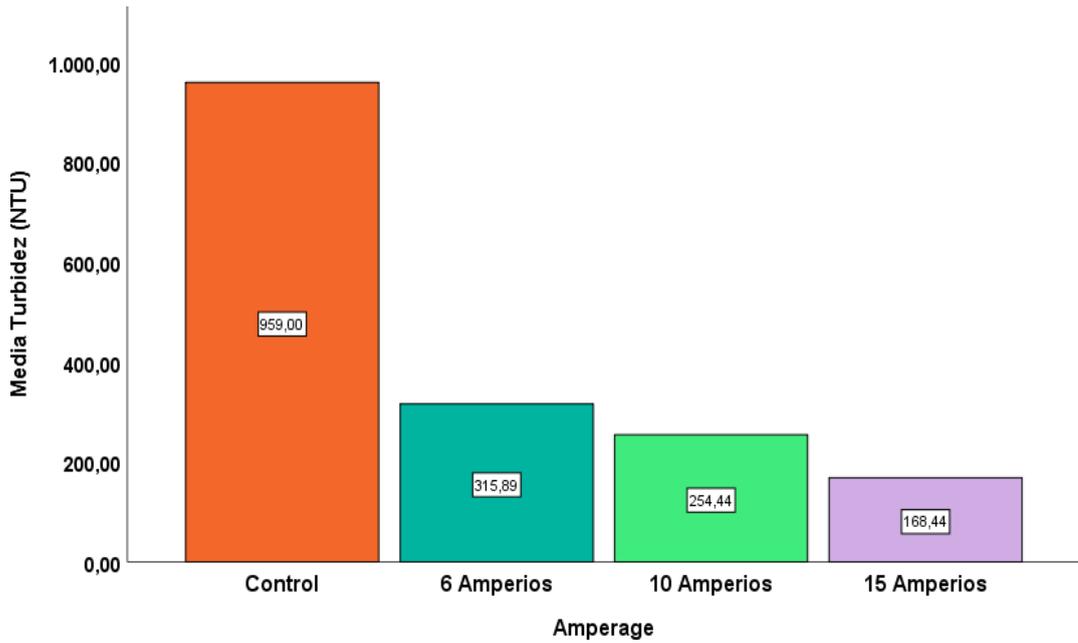
**Figura 15.** *Intensidad de corriente óptima para la Conductividad eléctrica*

En la **Figura 15**, se evidenció que la intensidad de corriente óptima para el parámetro de conductividad eléctrica se logró al suministrar 10 amperios, obteniendo un valor de 21.84 mS/cm. De igual manera, se observa que al aplicar 15 amperios se registró un valor de 22.74 mS/cm, mientras que cuando se suministró 6 amperios se obtuvo una lectura de 27.81 mS/cm. En definitiva, estos resultados señalan claramente que la conductividad eléctrica está directamente relacionada con la intensidad de corriente suministrada. La intensidad de 10 amperios parece ser la óptima para alcanzar la conductividad deseada. Esta información es esencial para ajustar la corriente de manera precisa y controlar eficientemente la conductividad eléctrica en el tratamiento del agua residual industrial.



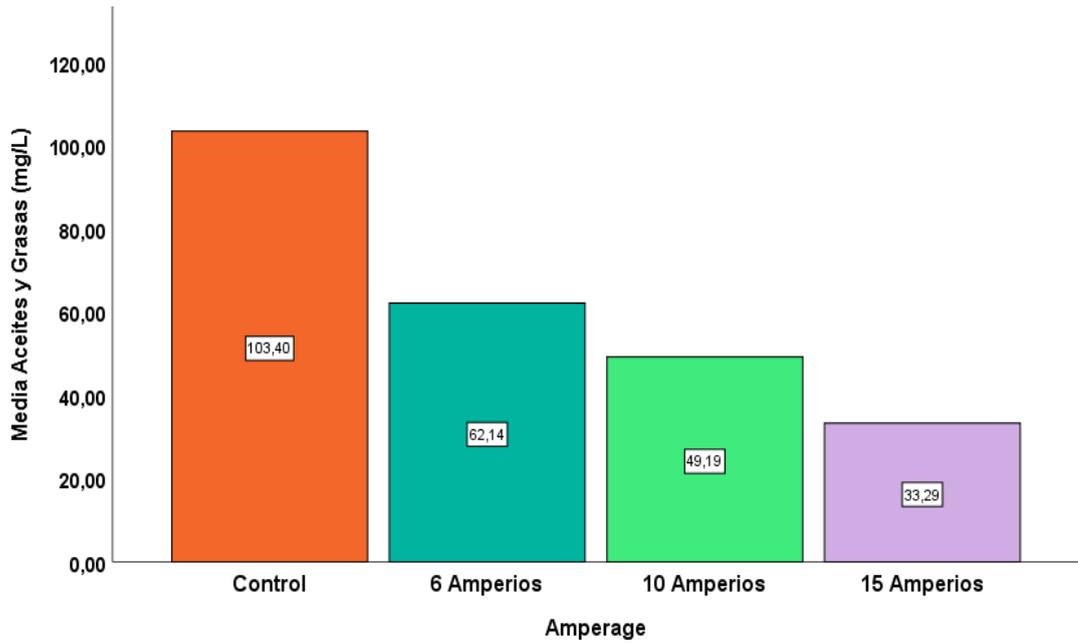
**Figura 16.** *Intensidad de corriente óptima para el oxígeno disuelto*

De acuerdo con la **Figura 16**, se determina que la intensidad óptima para el parámetro de oxígeno disuelto se alcanzó cuando se aplicó 10 amperios, obteniendo un valor de 3.18 mg/L. Asimismo, se observa que cuando se suministró una intensidad de 15 amperios se registró un valor ligeramente menor de 3.10 mg/L, y, por último, cuando se aplicó 6 amperios, se obtuvo un valor de 3.07 mg/L. Estos resultados indican que la intensidad de corriente de 10 amperios parece ser la más efectiva para lograr concentraciones deseadas de oxígeno disuelto en el agua residual industrial. Este hallazgo es crucial para optimizar las condiciones de tratamiento y asegurar la eficiencia en la remoción de contaminantes.



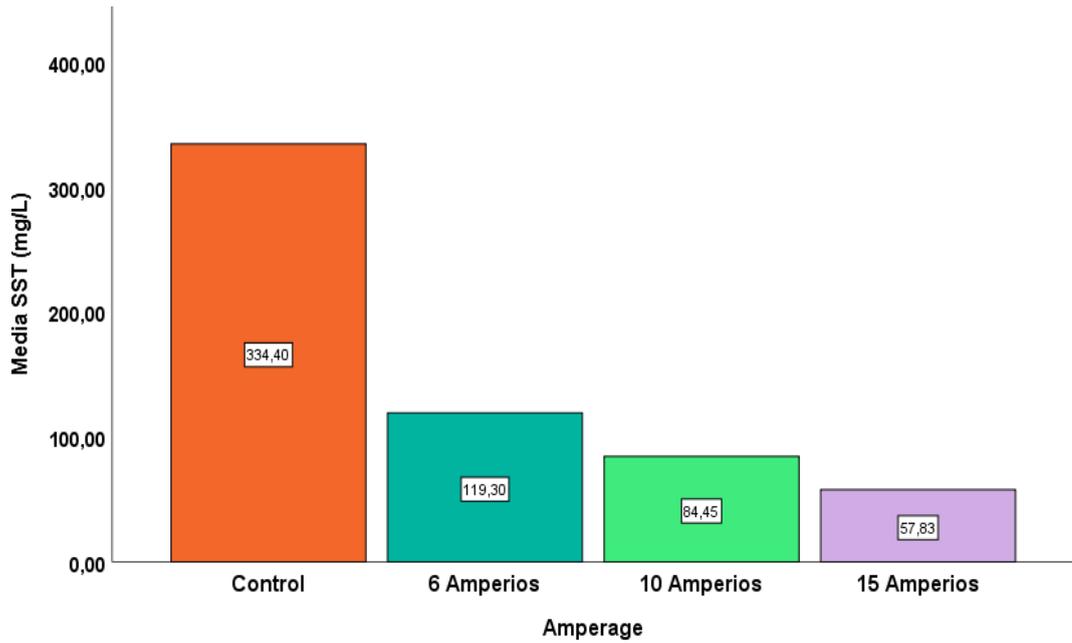
**Figura 17.** *Intensidad de corriente óptima para la Turbidez*

Según la **Figura 17**, la intensidad óptima para la remoción de turbidez en el agua residual de la empresa pesquera se logró al suministrar 15 amperios, obteniendo un valor de 168.44 NTU. Se observa también que al aplicar 10 amperios se registra un valor de 254.44 NTU, mientras que suministrando 6 amperios se obtiene una lectura de 317.89 NTU. Estos resultados indican una eficiente remoción de turbidez con la aplicación de corriente eléctrica, siendo más notable a 15 amperios. La reducción significativa desde el valor inicial de 959 NTU sin electrocoagulación sugiere la efectividad de este proceso en mejorar la claridad del agua residual. Reafirmado así la primera hipótesis específica.



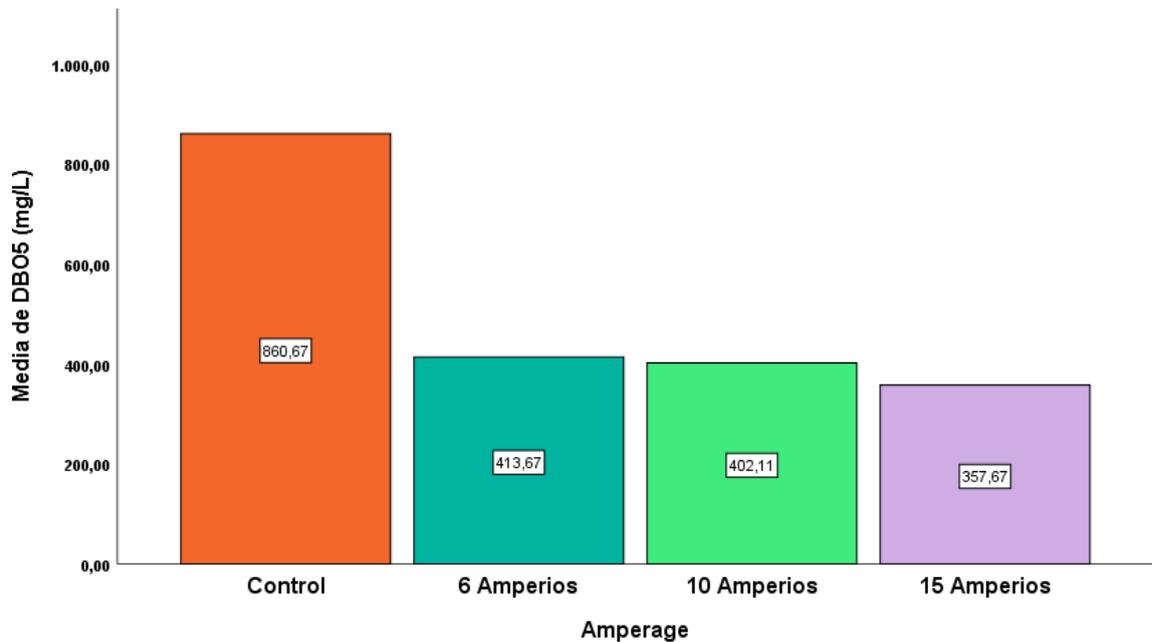
**Figura 18.** *Intensidad de corriente óptima para los aceites y grasas*

De acuerdo con los resultados presentados en la **Figura 18**, se evidencia que la intensidad óptima para la remoción de aceites y grasas en el agua residual se alcanzó al suministrar 15 amperios, logrando un valor de 33.29 mg/L. Además, se observó que al aplicar 10 amperios se registra una concentración de 49.19 mg/L, y al suministrar 6 amperios se obtiene un valor de 62.14 mg/L. Comparando estos resultados con el valor inicial de 103.4 mg/L, se destaca la efectividad del proceso, especialmente a 15 amperios, en la reducción significativa de la concentración inicial de aceites y grasas en el agua residual de la empresa pesquera. Hallazgos que reafirman la primera hipótesis de la investigación.



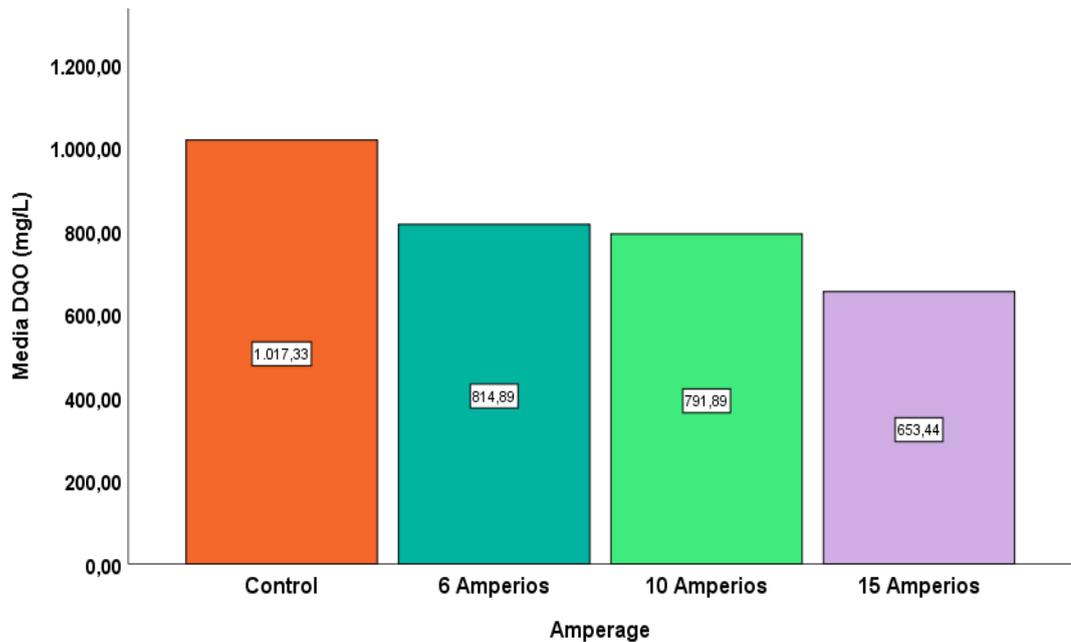
**Figura 19.** *Intensidad de corriente óptima para los SST*

Según los datos presentados en la **Figura 19**, se destaca que la intensidad óptima para la remoción de sólidos suspendidos totales (SST) en el agua residual se logró al suministrar 15 amperios, obteniendo un valor de 57.83 mg/L. Asimismo, se observó que al aplicar 10 amperios se registró una concentración de 84.45 mg/L, y al suministrar 6 amperios se obtiene un valor de 119.30 mg/L. Al comparar estos resultados con el valor inicial de 334.40 mg/L, se evidencia la eficacia del proceso, especialmente a 15 amperios, en la notable reducción de la concentración inicial de SST en el agua residual de la empresa pesquera. Estos resultados respaldan la primera hipótesis de la investigación.



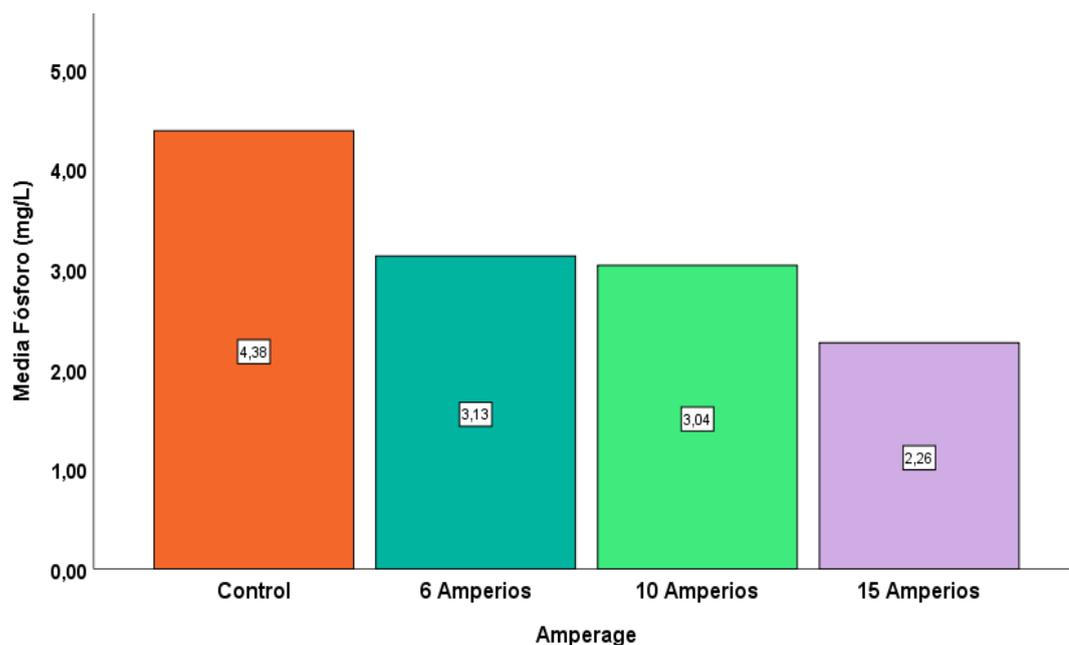
**Figura 20.** *Intensidad de corriente óptima para la DBO<sub>5</sub>*

Con base en los resultados obtenidos que se muestran en la **Figura 20**, se observó que la intensidad óptima para la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días (DBO<sub>5</sub>) en el agua residual se alcanzó al suministrar 15 amperios, logrando un valor de 357.67 mg/L. Además, se destaca que al aplicar 10 amperios se registra una concentración de 402.11 mg/L, y al suministrar 6 amperios se obtuvo un valor de 412.67 mg/L. Comparando estos resultados con el valor de control de 860.67 mg/L, se evidencia la eficacia del proceso, especialmente a 15 amperios, en la considerable reducción de la concentración inicial de DBO<sub>5</sub> en el agua residual de la empresa pesquera. Hallazgos que reafirman la primera hipótesis de la investigación.



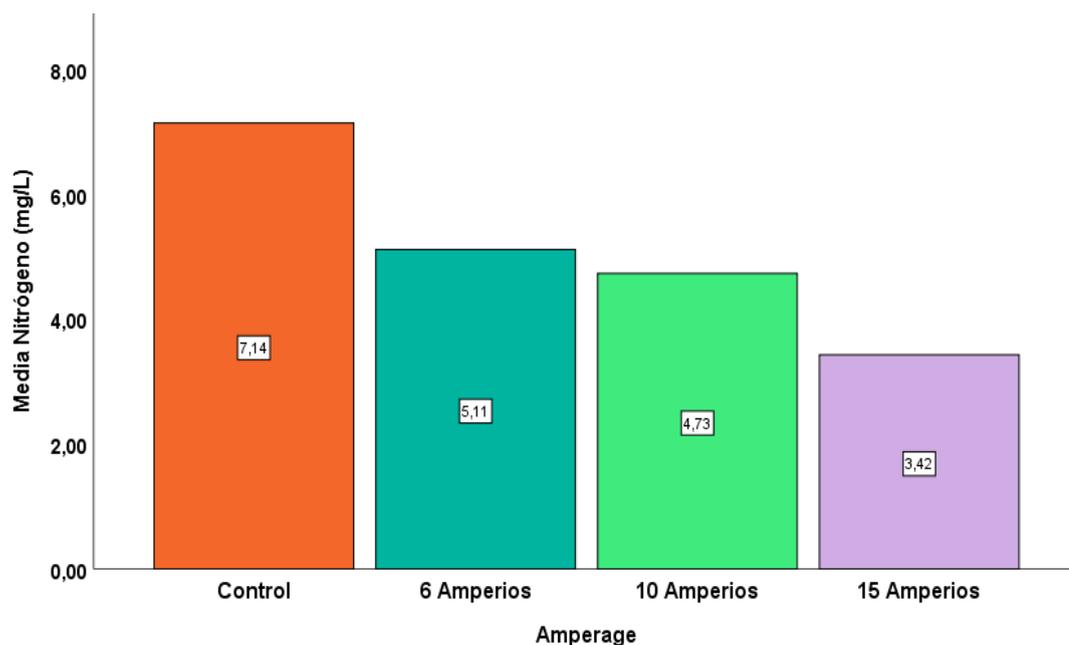
**Figura 21.** *Intensidad de corriente óptima para la DQO*

A partir de los resultados presentados en la **Figura 21**, se destaca que la intensidad óptima para la remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) en el agua residual se alcanzó al suministrar 15 amperios, obteniendo un valor de 653.44 mg/L. Asimismo, se observa que al aplicar 10 amperios se registró una concentración de 791.89 mg/L, y al suministrar 6 amperios se obtiene un valor de 814.89 mg/L. Al comparar estos resultados con el valor de control de 1017.33 mg/L, se evidencia la eficacia del proceso, especialmente a 15 amperios, en la considerable reducción de la concentración inicial de DQO en el agua residual de la empresa pesquera. Estos hallazgos reafirman la primera hipótesis específica de la investigación.



**Figura 22.** *Intensidad de corriente óptima para el fósforo*

Con base en los resultados presentados en la **Figura 22**, se destaca que la intensidad óptima para la remoción de fósforo en el agua residual se alcanzó al suministrar 15 amperios, logrando un valor de 2.26 mg/L. Además, se observa que al aplicar 10 amperios se registró una concentración de 3.04 mg/L, y al suministrar 6 amperios se obtuvo un valor de 3.13 mg/L. Comparando estos resultados con el valor de control de 4.38 mg/L, se evidencia la eficacia del proceso, especialmente a 15 amperios, en la reducción significativa de la concentración inicial de fósforo en el agua residual de la empresa pesquera. Estos hallazgos reafirman la primera hipótesis específica de la investigación.

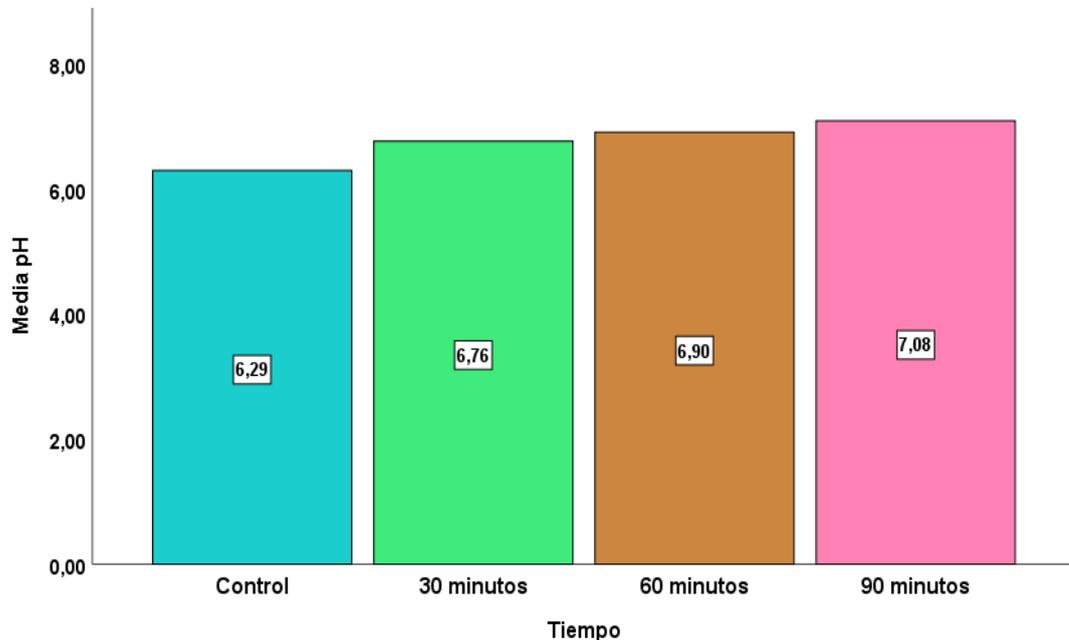


**Figura 23.** *Intensidad de corriente óptima para el nitrógeno*

Según la **Figura 23**, se destaca que la intensidad óptima para la remoción de nitrógeno en el agua residual se logra al suministrar 15 amperios, obteniendo un valor de 3.42 mg/L. Asimismo, se observó que al aplicar 10 amperios se registró una concentración de 4.73 mg/L, y al suministrar 6 amperios se obtuvo un valor de 5.11 mg/L. Comparando estos resultados con el valor de control de 7.14 mg/L, se evidencia la eficacia del proceso, especialmente a 15 amperios, en la reducción significativa de la concentración inicial de nitrógeno en el agua residual de la empresa pesquera. Estos hallazgos reafirman la primera hipótesis específica del estudio.

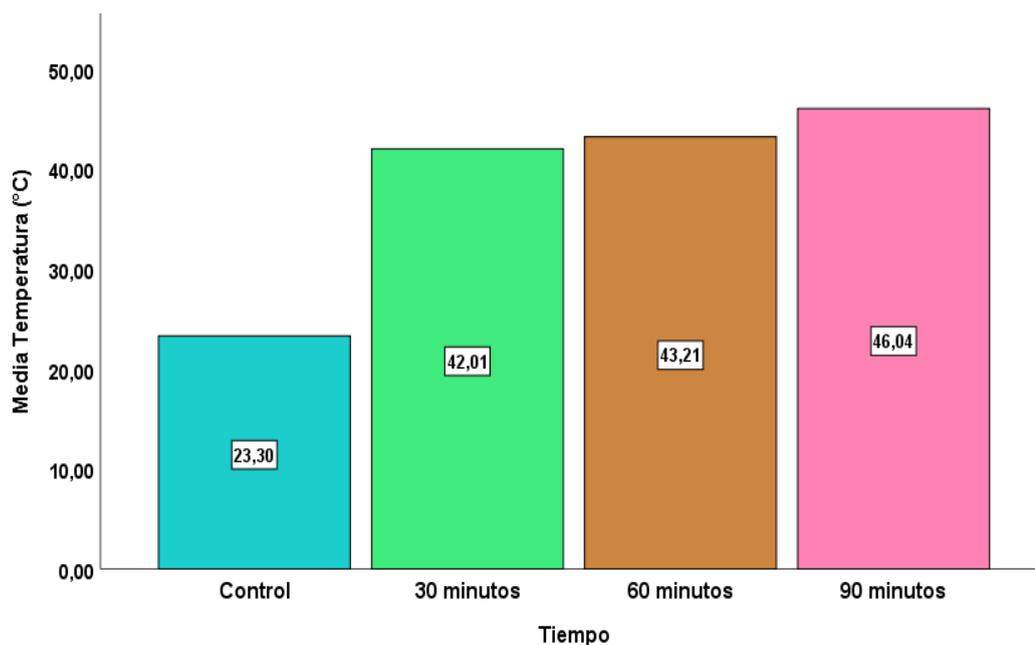
#### 4.1.1. Tiempo óptimo en la remoción de contaminantes

A continuación, se muestra el tiempo óptimo en la remoción de contaminantes presentes en el agua residual de una empresa pesquera.



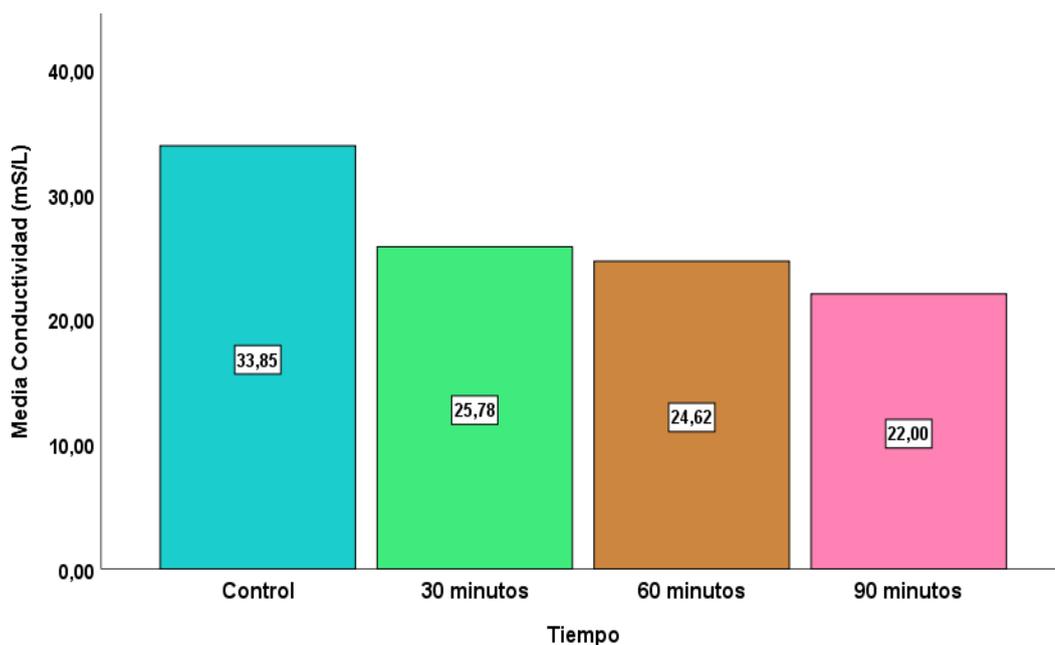
**Figura 24.** *Tiempo óptimo para el pH*

Basándonos en los resultados presentados en la **Figura 24**, se destaca que el ajuste óptimo del pH en el agua residual se logró al cabo de 90 minutos de tratamiento, registrando un valor de 7.08. Asimismo, se observó que tras 60 minutos de tratamiento se alcanzó un pH de 6.90, y después de 30 minutos se obtiene un valor de 6.76. Comparando estos resultados con el valor de control de pH de 6.29, se evidencia la efectividad del proceso, especialmente después de 90 minutos, en lograr la neutralización deseada en el agua residual de la empresa pesquera. Estos hallazgos ofrecen información valiosa para la optimización de los tiempos de tratamiento y el control preciso del pH durante el proceso de remoción de contaminantes.



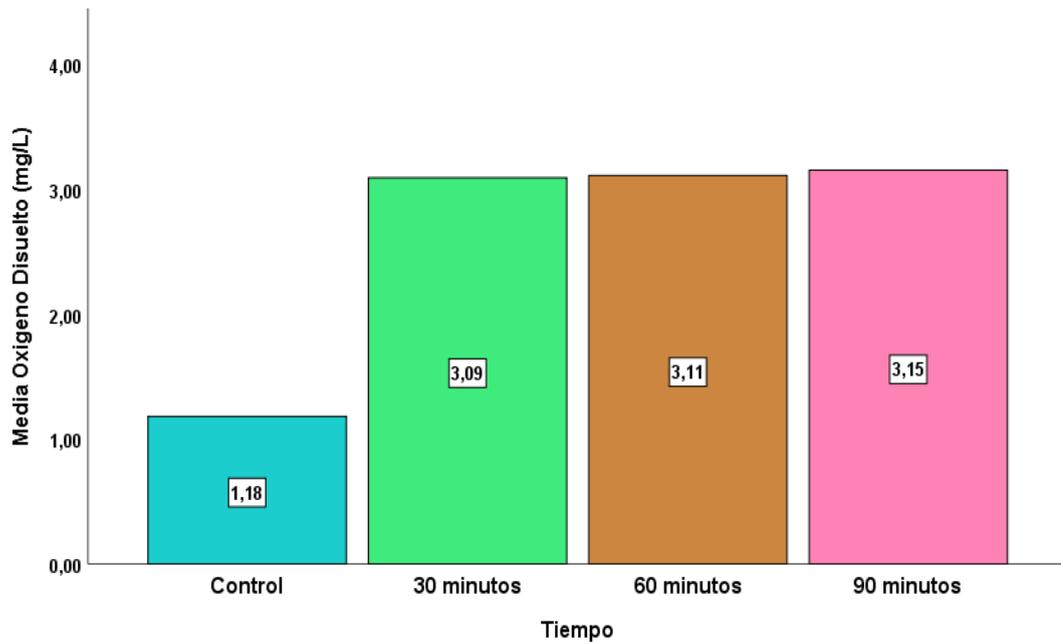
**Figura 25.** *Tiempo óptimo para la Temperatura*

Basándonos en los resultados presentados en la **Figura 25**, se destaca que la temperatura va aumentando conforme va aumentando el tiempo de tratamiento con electrocoagulación, es así que al cabo de 90 minutos de tratamiento se registró un valor de 46.04°C. Además, se observó que tras 60 minutos de tratamiento la temperatura es de 43.21°C, y después de 30 minutos se obtiene un valor de 42.01°C. Comparando estos resultados con el valor de control de temperatura de 23.30°C, se evidencia el aumento de esta, especialmente después de 90 minutos. Estos hallazgos ofrecen información valiosa para la optimización de los tiempos de tratamiento y el control preciso de la temperatura durante el proceso de remoción de contaminantes.



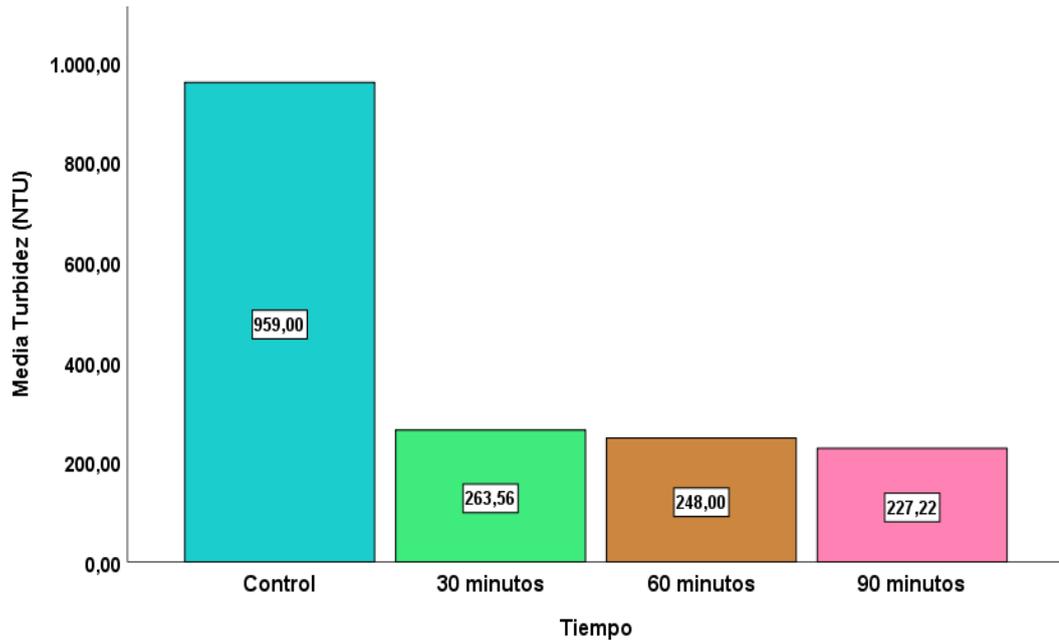
**Figura 26.** *Tiempo óptimo para la Conductividad eléctrica*

Basándonos en los resultados presentados en la **Figura 26**, se destaca que la conductividad eléctrica óptima en el agua residual se logró al cabo de 90 minutos de tratamiento, registrando un valor de 22 mS/cm. Este dato indica que el tiempo más efectivo para alcanzar la conductividad deseada es después de 90 minutos de aplicación del proceso. Además, se observó que, tras 60 minutos de tratamiento, la conductividad es de 24.62 mS/cm, y después de 30 minutos se obtiene un valor de 25.78 mS/cm. Comparando estos resultados con el valor de control de conductividad eléctrica de 33.85 mS/cm, se evidencia la eficacia del proceso, especialmente después de 90 minutos, en lograr la conductividad deseada en el agua residual de la empresa pesquera. Estos hallazgos reafirman la segunda hipótesis específica del trabajo.



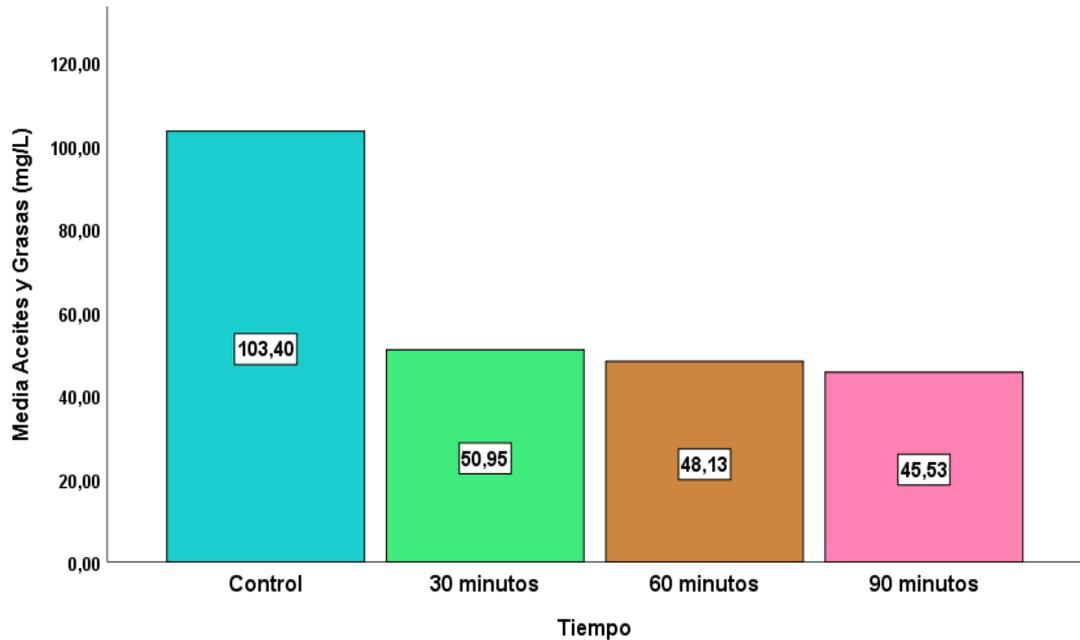
**Figura 27.** *Tiempo óptimo para el oxígeno disuelto*

En la **Figura 27**, se destacó que la concentración óptima de oxígeno disuelto en el agua residual se logró al cabo de 90 minutos de tratamiento, registrando un valor de 3.15 mg/L. Este dato indica que el tiempo más efectivo para alcanzar la concentración deseada es después de 90 minutos de aplicación del proceso. Además, se observó que, tras 60 minutos de tratamiento, la concentración de oxígeno disuelto es de 3.11 mg/L, y después de 30 minutos se obtiene un valor de 3.09 mg/L. Comparando estos resultados con el valor de control de oxígeno disuelto de 1.18 mg/L, se evidencia la eficacia del proceso, especialmente después de 90 minutos, en lograr la concentración deseada en el agua residual de la empresa pesquera. Estos hallazgos que reafirman la segunda hipótesis específica.



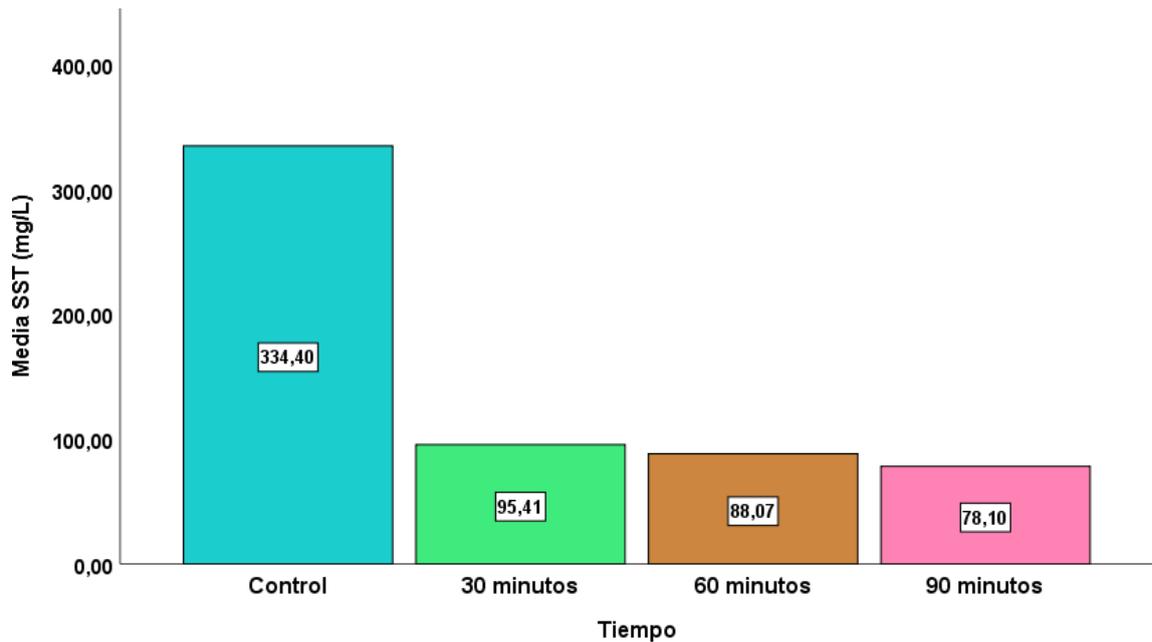
**Figura 28.** *Tiempo óptimo para la remoción de Turbidez*

Según los resultados presentados en la **Figura 28**, se destaca que el nivel óptimo de reducción de turbidez en el agua residual se alcanzó al cabo de 90 minutos de tratamiento, registrando un valor de 227.22 NTU. Este dato indica que el tiempo más efectivo para lograr la disminución deseada de turbidez es después de 90 minutos de aplicación del proceso. Además, se observa que, tras 60 minutos de tratamiento, la turbidez es de 248.0 NTU, y después de 30 minutos se obtiene un valor de 263.56 NTU. Comparando estos resultados con el valor de control de turbidez de 959 NTU, se evidencia la eficacia del proceso, especialmente después de 90 minutos, en lograr la reducción deseada en la turbidez del agua residual de la empresa pesquera. Estos hallazgos reafirman la segunda hipótesis específica de la investigación.



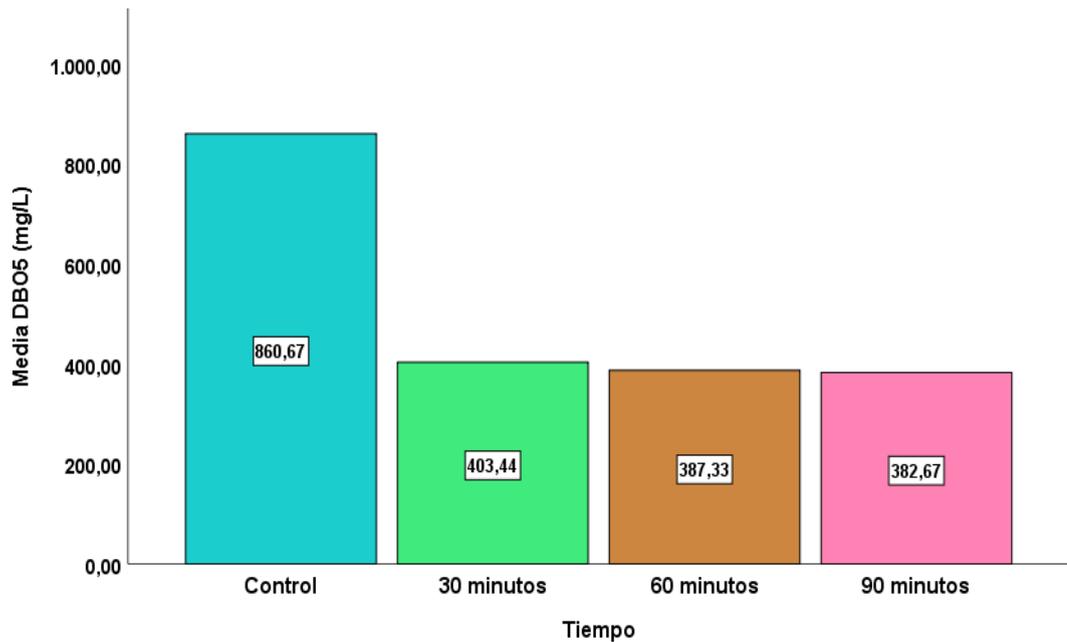
**Figura 29.** *Tiempo óptimo para la remoción de aceites y grasas*

Según los resultados presentados en la **Figura 29**, se destaca que la concentración óptima de remoción de aceites y grasas en el agua residual se alcanzó al cabo de 90 minutos de tratamiento, registrando un valor de 45.53 mg/L. Este dato indica que el tiempo más efectivo para lograr la reducción deseada de aceites y grasas es después de 90 minutos de aplicación del proceso. Además, se observó que, tras 60 minutos de tratamiento, la concentración de aceites y grasas es de 48.13 mg/L, y después de 30 minutos se obtiene un valor de 50.95 mg/L. Comparando estos resultados con el valor de control de 103.4 mg/L, se evidencia la eficacia del proceso, especialmente después de 90 minutos, en lograr la reducción deseada en la concentración de aceites y grasas en el agua residual de la empresa pesquera. Estos hallazgos respaldan la segunda hipótesis específica de la investigación.



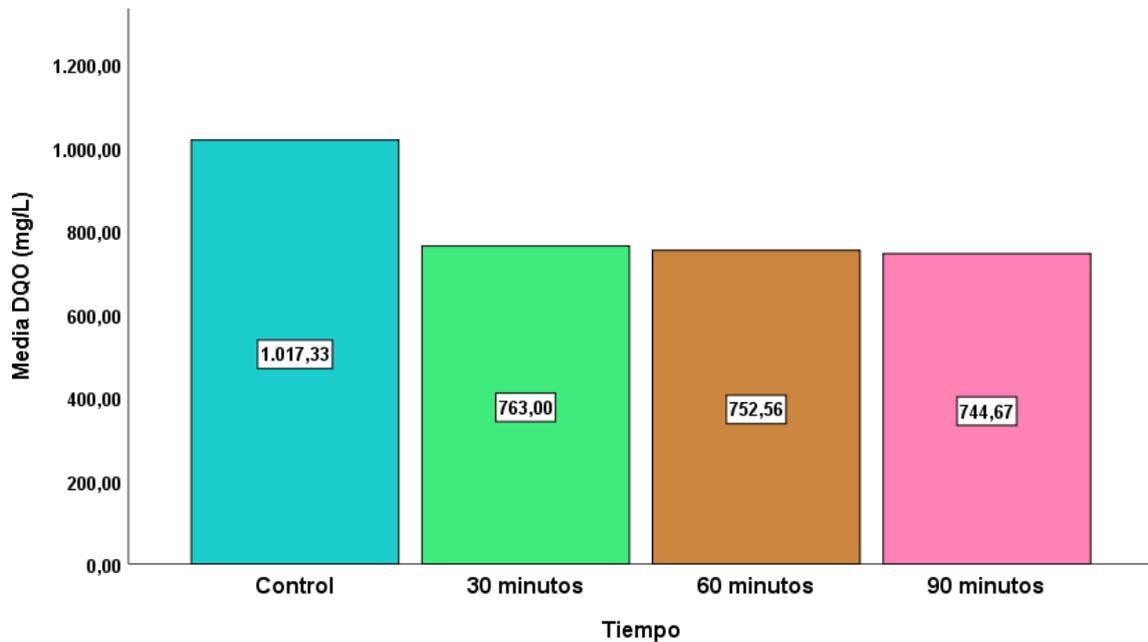
**Figura 30.** *Tiempo óptimo para la remoción de SST*

Según la **Figura 30** se aprecia que, la concentración óptima de reducción de SST en el agua residual se alcanzó al cabo de 90 minutos de tratamiento, registrando un valor de 78.10 mg/L. Este dato indica que el tiempo más efectivo para lograr la disminución deseada de SST es después de 90 minutos de aplicación del proceso. Además, se observó que, tras 60 minutos de tratamiento, la concentración de SST es de 88.07 mg/L, y después de 30 minutos se obtiene un valor de 95.41 mg/L. Comparando estos resultados con el valor de control de SST de 334.4 mg/L, se evidenció la eficacia del proceso, especialmente después de 90 minutos, en lograr la reducción deseada en la concentración de sólidos suspendidos totales en el agua residual de la empresa pesquera. Estos hallazgos reafirman la segunda hipótesis específica de esta investigación.



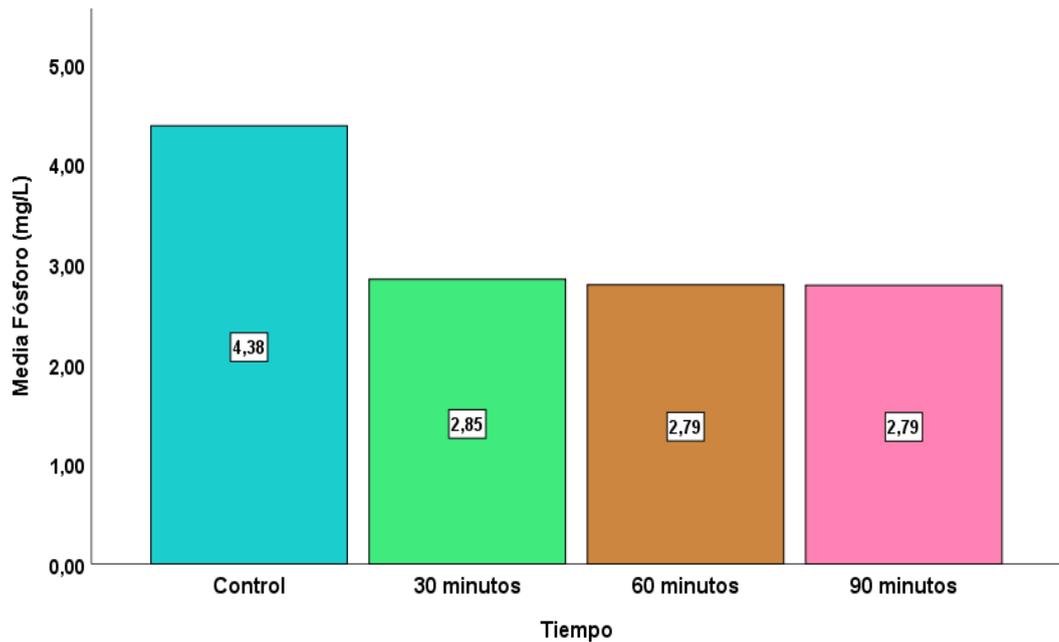
**Figura 31.** *Tiempo óptimo para la remoción de la DBO<sub>5</sub>*

Conforme a los resultados presentados en la **Figura 31**, es destacable que la concentración óptima de reducción de la DBO<sub>5</sub> en el agua residual se logró al transcurrir 90 minutos de tratamiento, evidenciando un valor de 382.67 mg/L. Este dato sugiere que el periodo más eficiente para alcanzar la disminución deseada de DBO<sub>5</sub> es después de 90 minutos de aplicación del procedimiento. Además, se observó que, a los 60 minutos de tratamiento, la concentración de DBO<sub>5</sub> es de 387.33 mg/L, y a los 30 minutos se obtiene un valor de 403.44 mg/L. Al cotejar estos resultados con el valor de control de DBO<sub>5</sub> de 860.67 mg/L, se subraya la eficacia del proceso, especialmente después de 90 minutos, en lograr la reducción deseada en la concentración de demanda bioquímica de oxígeno en el agua residual de la empresa pesquera. Estos hallazgos reafirman la segunda hipótesis de la investigación.



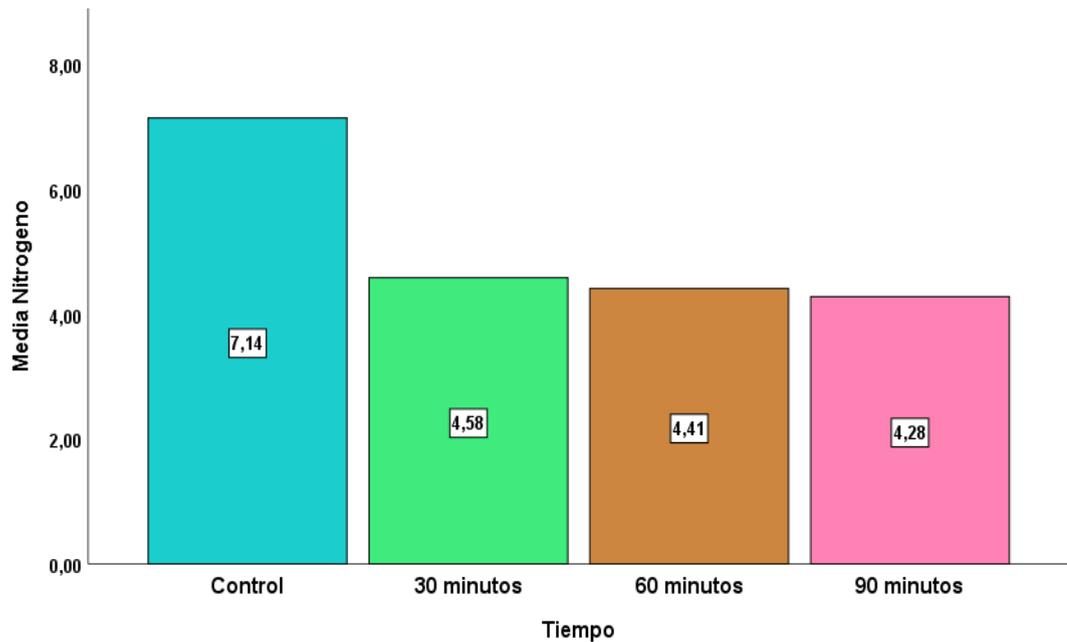
**Figura 32.** *Tiempo óptimo para la remoción de la DQO*

Con base en los resultados presentados en la **Figura 32**, se resalta que la concentración óptima de reducción de la DQO en el agua residual se logró después de 90 minutos de tratamiento, evidenciando un valor de 744.67 mg/L. Este dato subraya que el lapso más eficaz para alcanzar la disminución deseada de DQO es al cabo de 90 minutos de aplicación del proceso. Además, se observó que, a los 60 minutos de tratamiento, la concentración de DQO es de 752.56 mg/L, y a los 30 minutos se obtiene un valor de 763 mg/L. Al comparar estos resultados con el valor de control de DQO de 1017.33 mg/L, se pone de manifiesto la eficacia del proceso, especialmente después de 90 minutos, en lograr la reducción deseada en la concentración de demanda química de oxígeno en el agua residual de la empresa pesquera. Estos hallazgos reafirman la segunda hipótesis de la investigación.



**Figura 33.** *Tiempo óptimo para la remoción del fósforo*

De acuerdo con los resultados presentados en la **Figura 33**, se destaca que la concentración óptima de reducción de fósforo en el agua residual se alcanzó al transcurrir 90 minutos de tratamiento, registrando un valor constante de 2.79 mg/L. Este hallazgo resalta que el periodo más eficiente para lograr la disminución deseada de fósforo es después de 90 minutos de aplicación del proceso. Además, se observa que, a los 60 minutos de tratamiento, la concentración de fósforo es de 2.79 mg/L, y a los 30 minutos se obtiene un valor de 2.85 mg/L. Al comparar estos resultados con el valor de control de fósforo de 4.38 mg/L, se evidenció la eficacia del proceso, especialmente después de 90 minutos, en lograr la reducción deseada en la concentración de fósforo en el agua residual de la empresa pesquera. Estos hallazgos reafirman la segunda hipótesis específica de la investigación.



**Figura 34.** *Tiempo óptimo para la remoción del nitrógeno*

Según los resultados presentados en la **Figura 34**, es destacable que la concentración óptima de reducción de nitrógeno en el agua residual se logró después de 90 minutos de tratamiento, con un registro de 4.28 mg/L. Este hallazgo destaca que el periodo más eficiente para lograr la disminución deseada de nitrógeno es al cabo de 90 minutos de aplicación del proceso. Además, se observó que, a los 60 minutos de tratamiento, la concentración de nitrógeno es de 4.41 mg/L, y a los 30 minutos se obtiene un valor de 4.58 mg/L. Al comparar estos resultados con el valor de control de nitrógeno de 7.14 mg/L, se evidencia la eficacia del proceso, especialmente después de 90 minutos, en lograr la reducción deseada en la concentración de nitrógeno en el agua residual de la empresa pesquera. Estos resultados reafirman la segunda hipótesis específica de la investigación.

#### 4.1.1. Características del agua residual industrial antes y después de la electrocoagulación

Seguidamente se muestran los resultados de las características del agua residual industrial antes y después de la electrocoagulación de la empresa pesquera de Lima 2023.

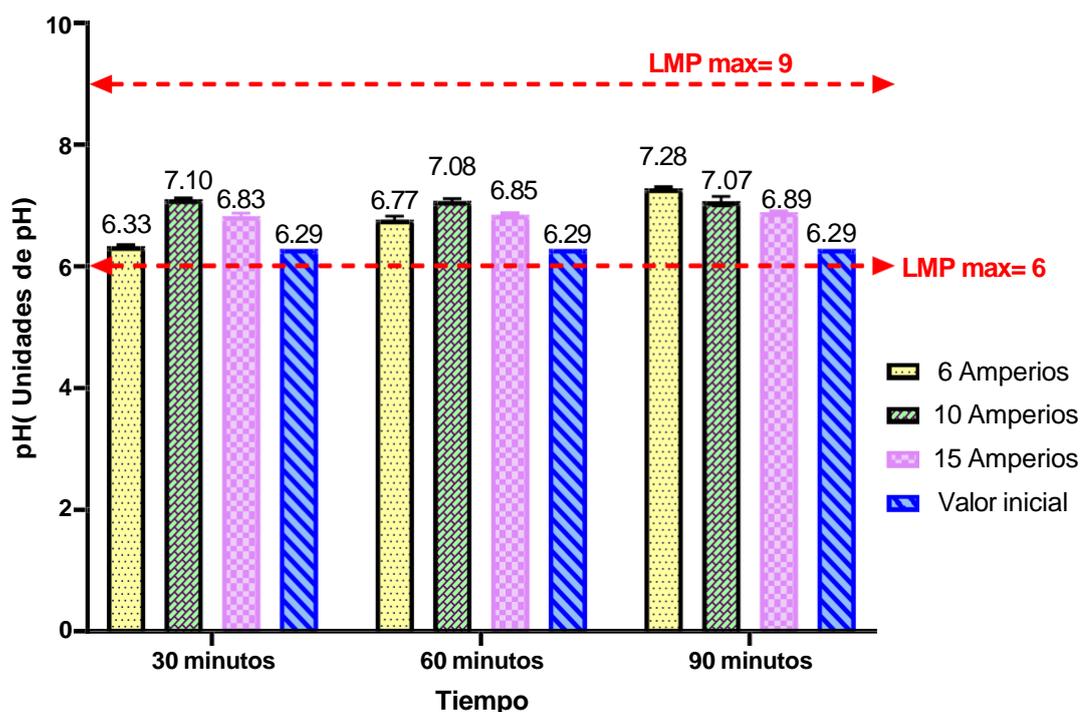
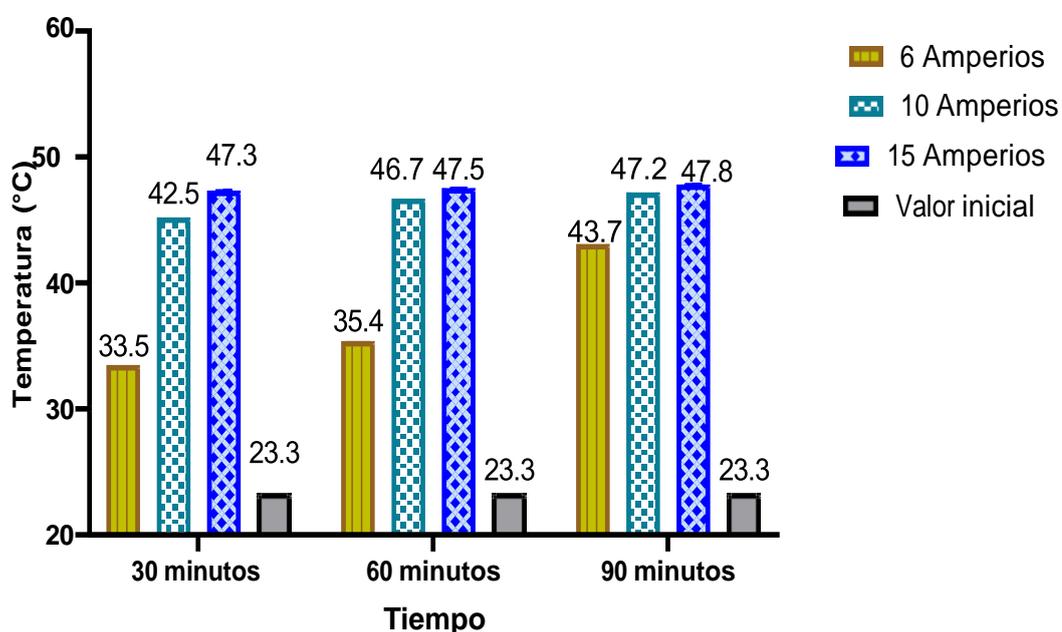


Figura 35. Resultados del pH antes y después del tratamiento

En la Figura 35, se observa que el pH inicial antes del tratamiento fue de 6.29. Después de aplicar un amperaje de 6 durante 30 minutos, el valor aumentó ligeramente a 6.33, siendo superior al valor inicial. Al suministrar 10 amperios en el mismo período de tiempo, el resultado fue de 7.19. Asimismo, al utilizar un amperaje de 15 durante 30 minutos, se obtuvo un valor de 6.83. El valor promedio del pH después de la electrocoagulación fue de 6.91 pH.

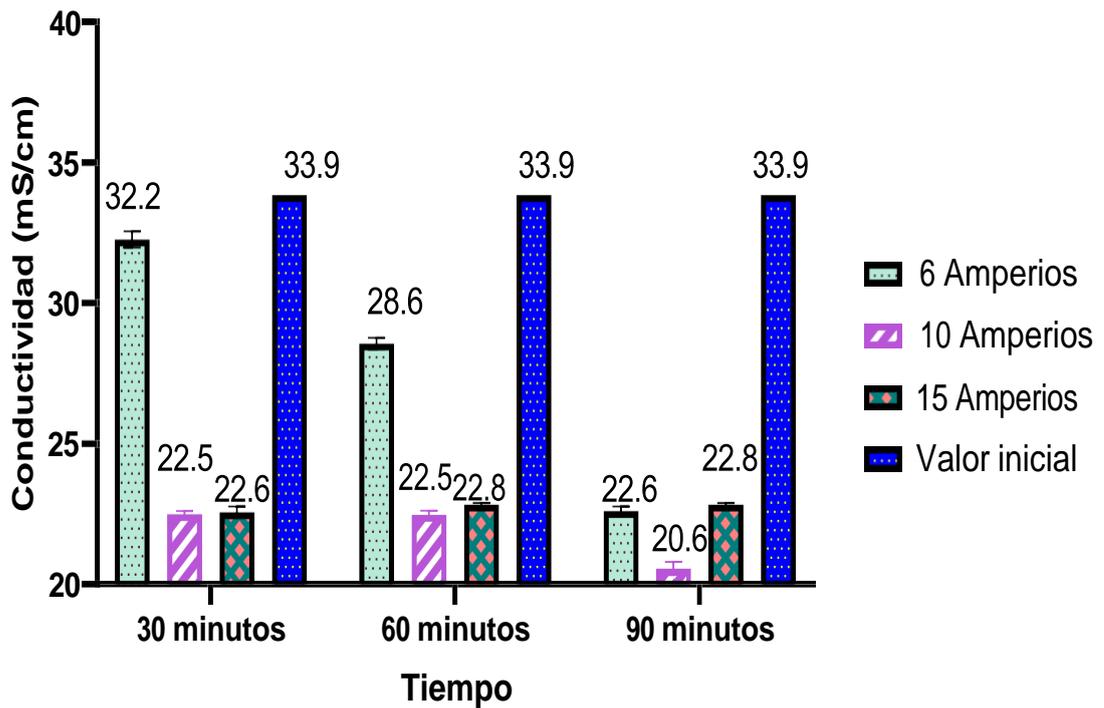
En comparación, al aplicar amperajes de 6, 10 y 15 durante 60 minutos, los valores fueron 6.77, 7.08 y 6.85, respectivamente. Finalmente, al suministrar los mismos amperajes durante 90 minutos, se obtuvieron valores de 7.28, 7.07 y 6.89. En conclusión, después de la

electrocoagulación, se observa una tendencia a que el pH sea más neutro, especialmente al utilizar una intensidad de corriente de 10 amperios.



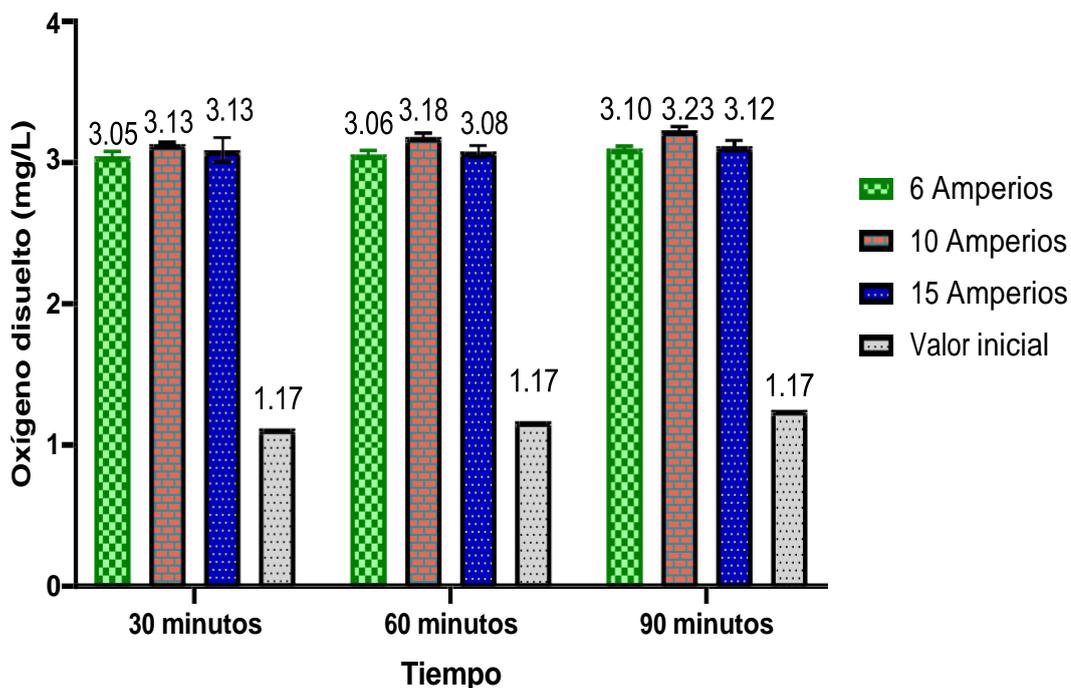
**Figura 36.** Resultados de la temperatura antes y después del tratamiento

De acuerdo con la **Figura 36**, se observa que, al suministrar corrientes de 6, 10 y 15 amperios durante 30 minutos, se obtuvieron temperaturas de 33.5°C, 42.5°C y 47.3°C, respectivamente. Además, al aplicar estas mismas intensidades de corriente durante 60 minutos, los valores fueron de 35.4°C, 46.7°C y 47.5°C. Por último, al evaluar las mismas intensidades durante 90 minutos, las temperaturas fueron de 43.7°C, 47.2°C y 47.8°C. Es relevante destacar que la temperatura aumentó a medida que se incrementó la intensidad de corriente, en comparación con el valor inicial de 23.3°C. En definitiva, el valor promedio de la temperatura después de la electrocoagulación es de 43.76°C.



**Figura 37.** Resultados de la conductividad antes y después del tratamiento

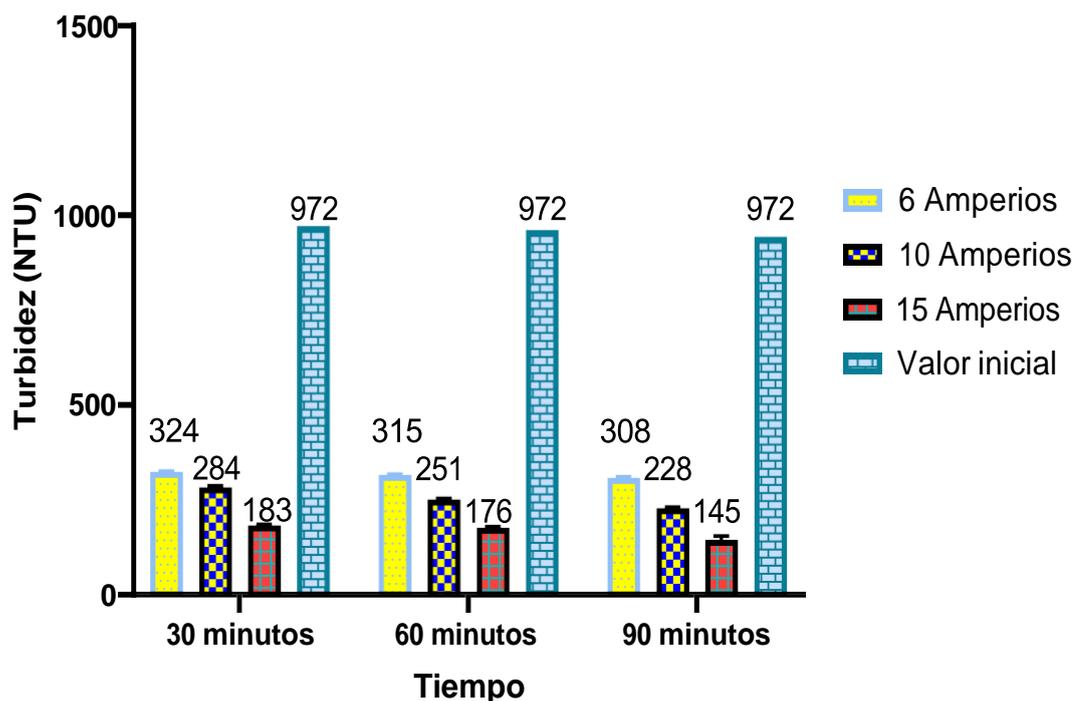
En la **Figura 37**, se observó que el valor inicial de la conductividad sin tratamiento fue de 33.9 mS/cm. Después de suministrar intensidades de corriente de 6, 10 y 15 amperios durante 30 minutos, se obtuvieron los siguientes resultados: 32.2 mS/cm, 22.5 mS/cm y 22.6 mS/cm, respectivamente. Asimismo, al aplicar 6, 10 y 15 amperios durante 60 minutos, los valores fueron 28.6 mS/cm, 22.5 mS/cm y 22.8 mS/cm. Finalmente, al suministrar 6, 10 y 15 amperios durante 90 minutos, se obtuvieron valores de 22.6 mS/cm, 20.6 mS/cm y 22.8 mS/cm. En última instancia, se obtuvo como valor promedio de la conductividad eléctrica luego del tratamiento fue de 24.13 mS/cm. Se destaca que después del tratamiento, los valores de conductividad disminuyeron, lo que respalda la tercera hipótesis específica planteada en la investigación.



**Figura 38.** Resultados de la Oxígeno disuelto antes y después del tratamiento

En la **Figura 38**, se presenta el valor inicial de oxígeno disuelto antes del tratamiento, el cual fue de 1.17 mg/L. Al aplicar intensidades de corriente de 6, 10 y 15 amperios durante 30 minutos, se registraron valores de oxígeno disuelto de 3.05 mg/L, 3.13 mg/L y 3.13 mg/L, respectivamente. Asimismo, al suministrar las mismas intensidades de corriente durante 60 minutos, se obtuvieron resultados de 3.06 mg/L, 3.18 mg/L y 3.08 mg/L. Finalmente, al aplicar intensidades de corriente de 6, 10 y 15 amperios durante 90 minutos, los valores de oxígeno disuelto fueron de 3.10 mg/L, 3.23 mg/L y 3.12 mg/L. Finalmente el valor promedio del oxígeno disuelto luego de la electrocoagulación fue de 3.11 mg/L.

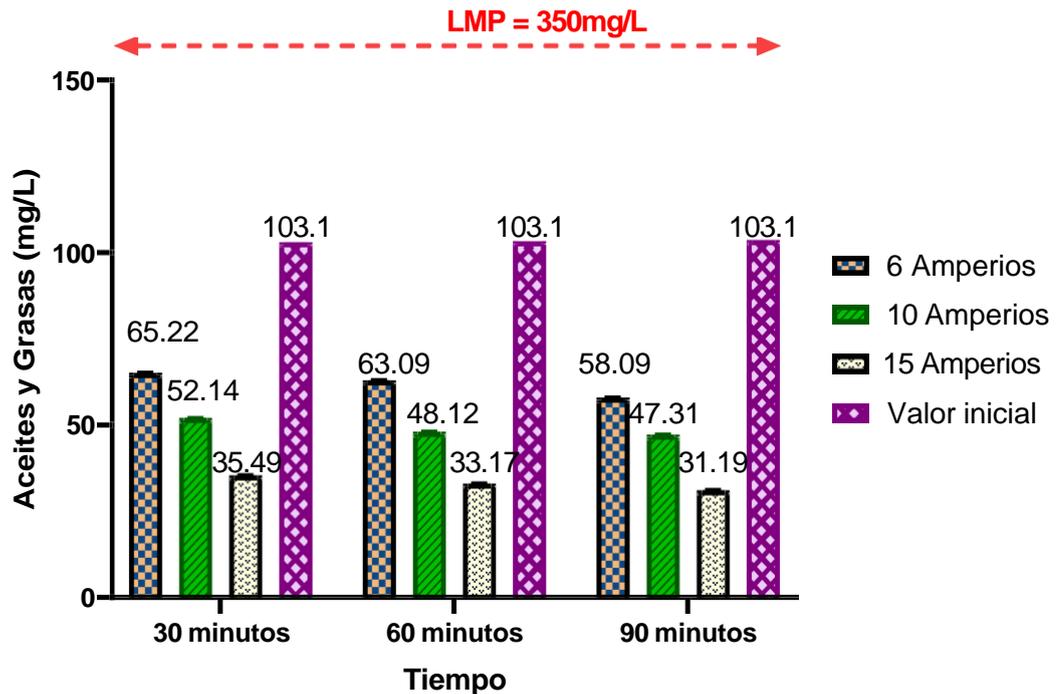
Después del tratamiento, se observa un aumento significativo en los niveles de oxígeno disuelto en comparación con el valor inicial de 1.17 mg/L. Estos resultados sugieren que la aplicación de corriente eléctrica contribuye positivamente al aumento de oxígeno disuelto en el medio.



**Figura 39.** Resultados de la Turbidez antes y después del tratamiento

De acuerdo con la **Figura 39**, se observó que el valor inicial de la turbidez antes del tratamiento fue de 972 NTU. Después de aplicar intensidades de corriente de 6, 10 y 15 amperios durante 30 minutos, se obtuvieron resultados de 324 NTU, 284 NTU y 183 NTU, respectivamente. Asimismo, al aplicar las mismas intensidades de corriente durante 60 minutos, los valores obtenidos fueron de 315 NTU, 251 NTU y 176 NTU. Finalmente, al aplicar intensidades de corriente de 6, 10 y 15 amperios durante 90 minutos, los resultados fueron de 308 NTU, 228 NTU y 145 NTU. Por último, el valor promedio de la turbidez luego del tratamiento fue de 246.25 NTU.

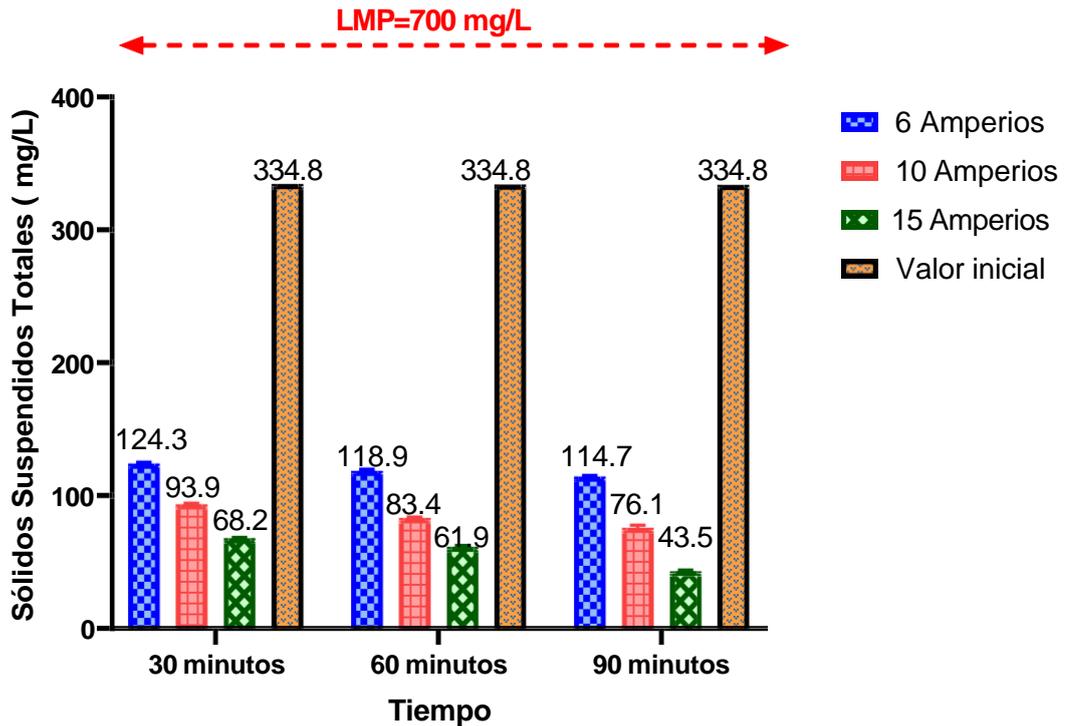
Por lo tanto, se puede afirmar que la electrocoagulación contribuyó significativamente a la disminución de la turbidez en el agua residual. Estos resultados respaldan la tercera hipótesis específica planteada en la investigación, demostrando la eficacia del tratamiento para mejorar la claridad del agua residual.



**Figura 40.** Resultados de Aceites y Grasas antes y después del tratamiento

De acuerdo con la **Figura 40**, se observó que el valor inicial de los aceites y grasas antes del tratamiento fue de 103.1 mg/L. Después de aplicar intensidades de corriente de 6, 10 y 15 amperios durante 30 minutos, se obtuvieron resultados de 65.22 mg/L, 52.14 mg/L y 35.49 mg/L, respectivamente. Asimismo, al aplicar las mismas intensidades de corriente durante 60 minutos, los resultados fueron de 63.09 mg/L, 48.12 mg/L y 33.17 mg/L. Finalmente, después de suministrar intensidades de corriente de 6, 10 y 15 amperios durante 90 minutos, los resultados fueron de 58.09 mg/L, 47.31 mg/L y 31.19 mg/L. En definitiva, el valor promedio de los aceites y grasas después de la electrocoagulación fue de 48.20 mg/L.

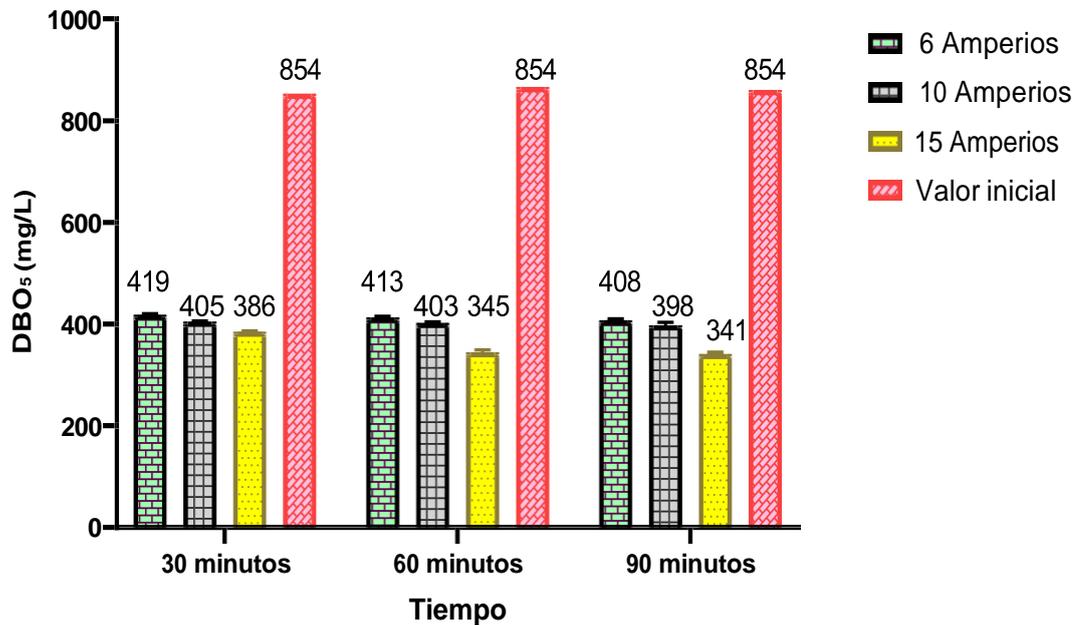
Estos resultados demuestran la efectividad del tratamiento, ya que los valores de aceites y grasas disminuyeron considerablemente en comparación con el valor inicial antes del tratamiento. Esta disminución respalda la tercera hipótesis específica planteada en la investigación.



**Figura 41.** Resultados de SST antes y después del tratamiento

Según la **Figura 41**, se observó que el valor inicial de los Sólidos Suspendidos Totales (SST) antes del tratamiento fue de 334.8 mg/L. Después de aplicar intensidades de corriente de 6, 10 y 15 amperios durante 30 minutos, se obtuvieron resultados de 124.3 mg/L, 93.9 mg/L y 68.2 mg/L, respectivamente. De manera similar, al aplicar las mismas intensidades de corriente durante 60 minutos, se registraron valores de 118.9 mg/L, 83.4 mg/L y 61.9 mg/L. Al suministrar intensidades de corriente de 6, 10 y 15 amperios durante 90 minutos, se obtuvieron valores de 114.7 mg/L, 76.1 mg/L y 43.5 mg/L. Finalmente, el promedio de SST luego de la electrocoagulación fue de 87.19 mg/L.

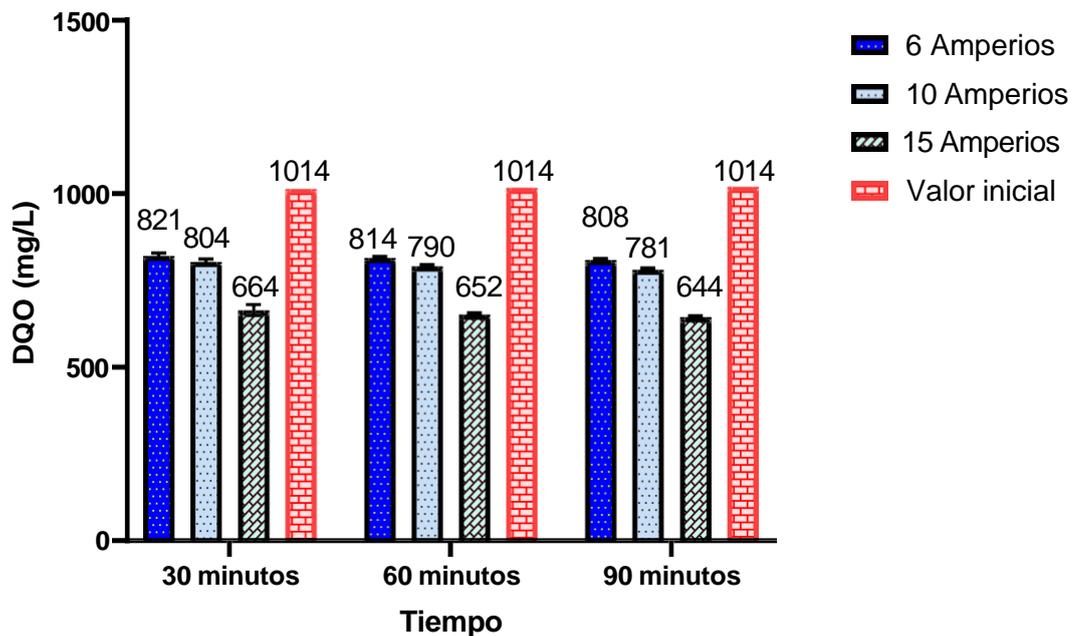
Estos hallazgos demuestran la eficiencia de la electrocoagulación en la remoción de los Sólidos Suspendidos Totales presentes en el agua residual de una empresa pesquera en Lima. Además, estos resultados respaldan la tercera hipótesis específica del trabajo, corroborando que el tratamiento ha disminuido las características finales después del tratamiento.



**Figura 42.** Resultados de DBO<sub>5</sub> antes y después del tratamiento

De la **Figura 42**, se observa que el valor inicial de la DBO<sub>5</sub> antes del tratamiento fue de 854 mg/L. Después de suministrar corrientes de 6, 10 y 15 amperios durante 30 minutos, los resultados fueron de 419 mg/L, 405 mg/L y 386 mg/L, respectivamente. Asimismo, al aplicar las mismas intensidades de corriente durante 60 minutos, se obtuvieron resultados de 413 mg/L, 403 mg/L y 345 mg/L. Al suministrar corrientes de 6, 10 y 15 amperios durante 90 minutos, los resultados fueron de 408 mg/L, 398 mg/L y 341 mg/L. Por último, el promedio de DBO<sub>5</sub> fue de 391.15 mg/L luego de la electrocoagulación.

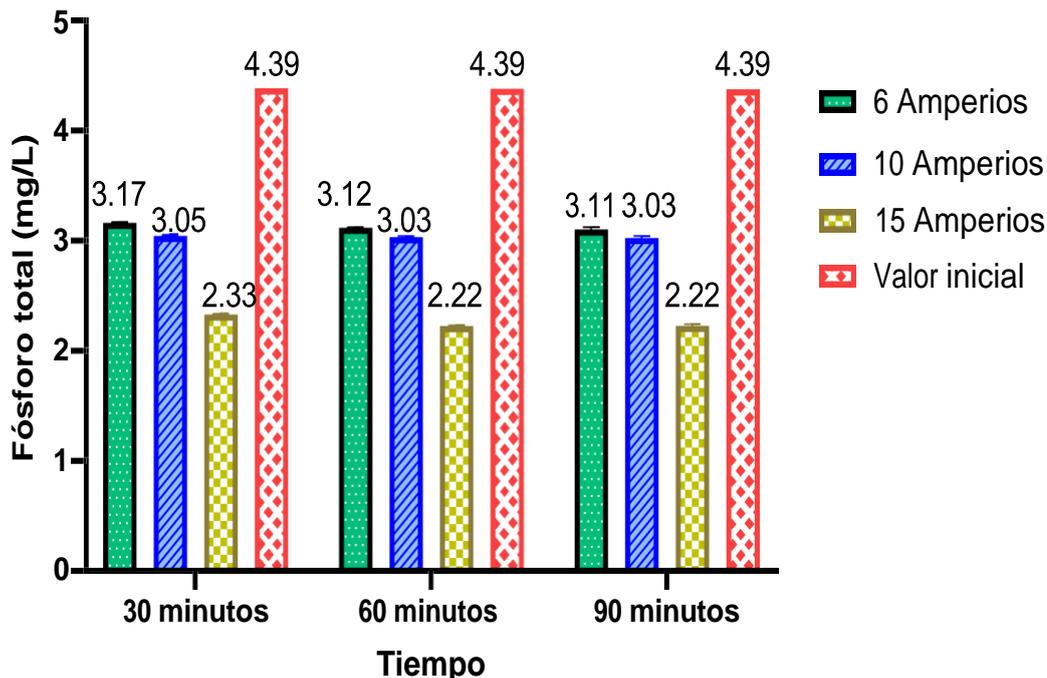
Al comparar los valores de la DBO<sub>5</sub> antes y después del tratamiento, se puede afirmar que la electrocoagulación logró una reducción significativa en la cantidad de DBO<sub>5</sub>. Este hallazgo respalda la tercera hipótesis específica de la investigación. Este resultado es de gran relevancia, ya que la reducción de la DBO<sub>5</sub> indica una mejora en la calidad del agua, contribuyendo así a la eficacia del proceso de tratamiento.



**Figura 43.** Resultados de DQO antes y después del tratamiento

De acuerdo con la **Figura 43**, se observa que el valor inicial de la DQO antes de la electrocoagulación fue de 1014 mg/L. Después de suministrar intensidades de corriente de 6, 10 y 15 amperios durante 30 minutos, los valores registrados fueron de 821 mg/L, 804 mg/L y 664 mg/L, respectivamente. Asimismo, al aplicar las mismas intensidades de corriente durante 60 minutos, se obtuvieron valores de 814 mg/L, 804 mg/L y 664 mg/L. Al suministrar intensidades de corriente de 6, 10 y 15 amperios durante 90 minutos, los valores fueron de 808 mg/L, 781 mg/L y 652 mg/L. Finalmente, el promedio de los valores de DQO luego de la electrocoagulación fue de 753.40 mg/L.

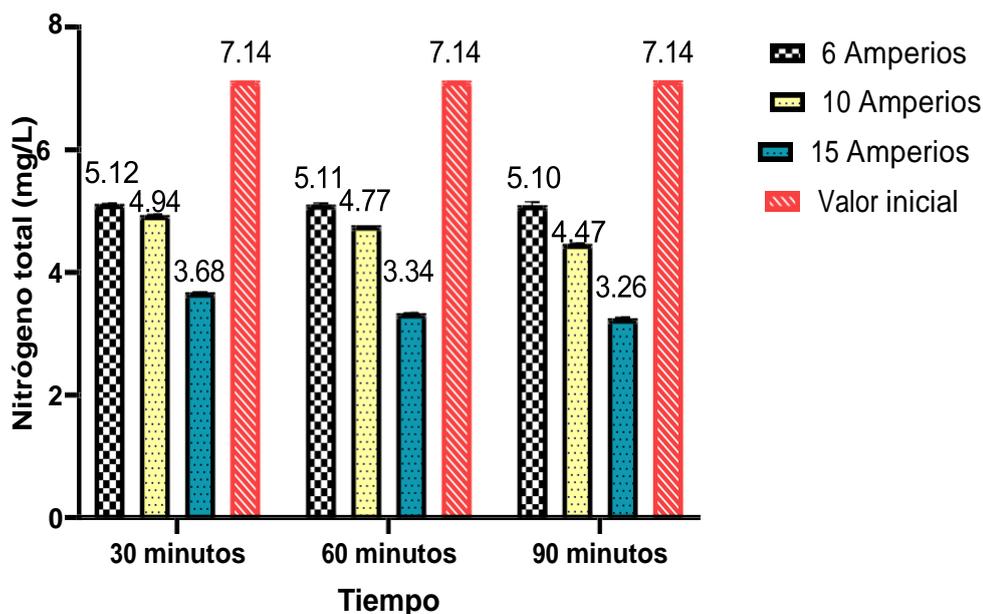
Estos hallazgos demuestran la efectividad de la electrocoagulación en la remoción de contaminantes, particularmente en la reducción de la DQO. Además, respaldan la tercera hipótesis específica planteada en la investigación. Estos resultados son significativos, ya que la reducción de la DQO indica una mejora en la calidad del agua tratada.



**Figura 44.** Resultados de Fósforo total antes y después del tratamiento

De acuerdo con la **Figura 44**, se observa que el valor inicial del fósforo total fue de 4.39. Después de aplicar las intensidades de corriente de 6, 10 y 15 amperios durante 30 minutos, los resultados fueron de 3.17 mg/L, 3.05 mg/L y 2.33 mg/L, respectivamente. Asimismo, al aplicar las mismas intensidades de corriente durante 60 minutos, se obtuvieron resultados de 3.12 mg/L, 3.03 mg/L y 2.33 mg/L. Al suministrar las intensidades de corriente de 6, 10 y 15 amperios durante 90 minutos, los resultados fueron de 3.11 mg/L, 3.03 mg/L y 2.22 mg/L. Finalmente, el promedio del valor de fósforo luego de la electrocoagulación fue de 2.81 mg/L.

Estos hallazgos demuestran que la aplicación de la electrocoagulación logró disminuir la concentración del fósforo total. Además, estos resultados respaldan la tercera hipótesis específica de la investigación. Esta disminución es crucial, ya que altas concentraciones de fósforo pueden tener efectos perjudiciales en los ecosistemas acuáticos y afectar la calidad del agua.



**Figura 45.** Resultados de Nitrógeno total antes y después del tratamiento

De acuerdo con la **Figura 45**, se aprecia que la cantidad inicial de nitrógeno total fue de 7.14 mg/L. Después de aplicar intensidades de corriente de 6, 10 y 15 amperios durante 30 minutos, se obtuvieron valores de 5.12 mg/L, 4.94 mg/L y 3.68 mg/L, respectivamente. Asimismo, al aplicar las mismas intensidades de corriente durante 60 minutos, se registraron valores de 5.11 mg/L, 4.77 mg/L y 3.34 mg/L. Al aplicar intensidades de corriente de 6, 10 y 15 amperios durante 90 minutos, se obtuvieron valores de 5.10 mg/L, 4.47 mg/L y 3.26 mg/L. Finalmente, el promedio del valor del nitrógeno luego de aplicar la electrocoagulación fue de 4.42mg/L.

Estos hallazgos demuestran la efectividad de la electrocoagulación, ya que se logró reducir la concentración inicial de nitrógeno total. Además, estos resultados respaldan la tercera hipótesis específica de la investigación, La reducción de esta concentración es vital para mitigar posibles efectos negativos en los ecosistemas acuáticos y garantizar la calidad del agua tratada.

#### 4.1.1. Porcentaje de remoción de contaminantes después de aplicar la electrocoagulación

En las siguientes figuras se muestra los resultados de los porcentajes de remoción de contaminantes después de aplicar la electrocoagulación en el agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima.

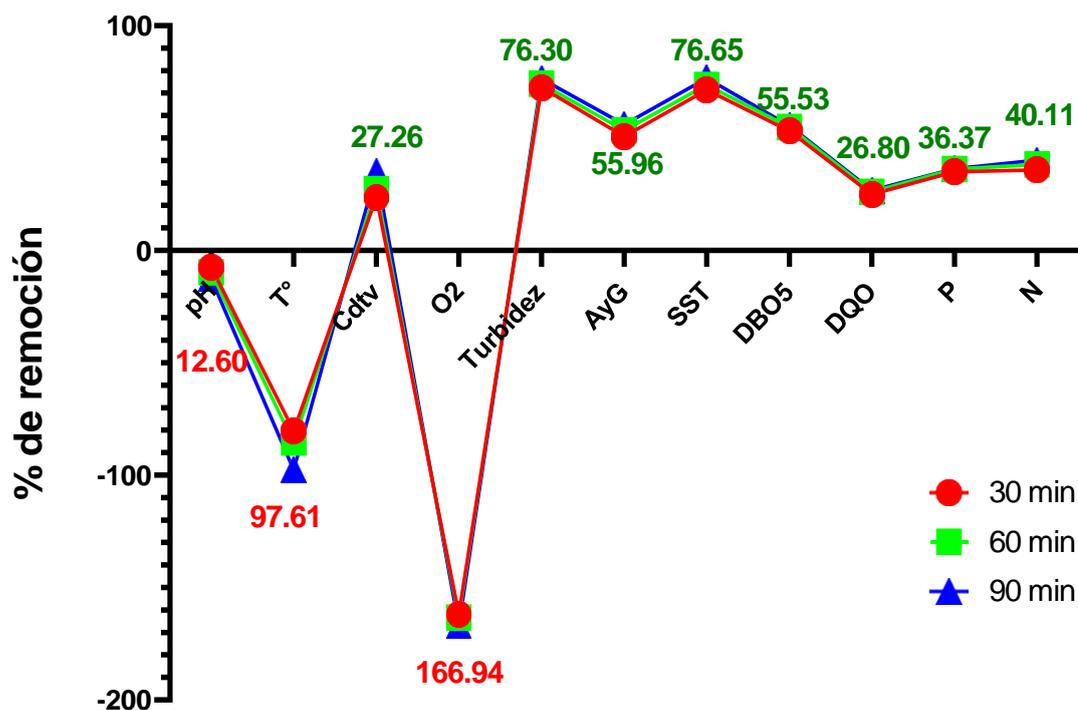
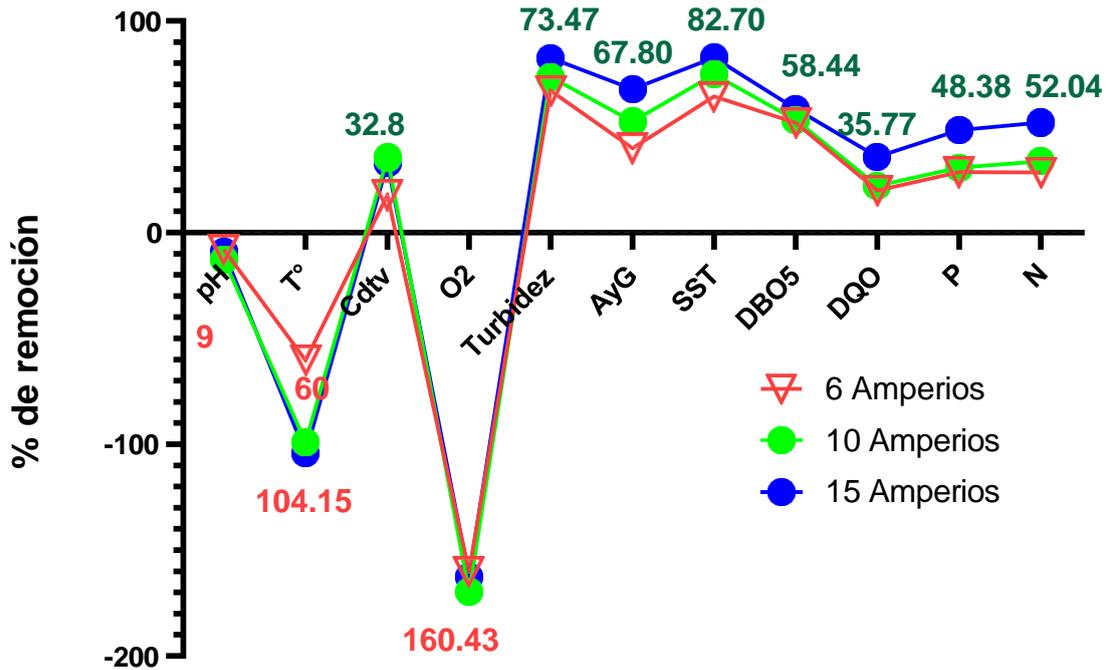


Figura 46. Porcentaje de remoción en relación al tiempo de tratamiento

De acuerdo con la **Figura 46**, se observa que los contaminantes como turbidez, aceites y grasas, SST, DBO<sub>5</sub>, DQO, fósforo y nitrógeno, presentaron un porcentaje de reducción de 76.3%, 55.96%, 76.65%, 55.53%, 26.80%, 36.37% y 40.11%, respectivamente, en relación con el tiempo del tratamiento. Estos hallazgos demuestran la efectividad de la electrocoagulación al remover contaminantes presentes en el agua residual proveniente de una industria pesquera. Asimismo, se reafirma la cuarta hipótesis específica planteada en el estudio.



**Figura 47.** Porcentaje de remoción en relación al Amperaje

En la **Figura 47**, se muestra que los contaminantes como la turbidez, aceites y grasas, SST, DBO<sub>5</sub>, DQO, fósforo y nitrógeno tuvieron un porcentaje de remoción en relación con la intensidad de corriente de 73.47%, 67.80%, 82.70%, 58.44%, 35.77%, 48.38% y 52.04%, respectivamente. Estos hallazgos demuestran la efectividad de la electrocoagulación en relación a la remoción de contaminantes presentes en el agua residual de una empresa pesquera en Lima. Asimismo, estos resultados reafirman la cuarta hipótesis específica planteada en la investigación.

La variación en los porcentajes de remoción resalta la influencia directa de la intensidad de corriente en la eficacia de la electrocoagulación para cada tipo de contaminante.

## 4.2. Resultados inferenciales

Formulación de las hipótesis Nula ( $H_0$ ) y Alternativa ( $H_1$ )

$H_0$ : La distribución de los datos proviene de una distribución normal

$H_1$ : La distribución de los datos no proviene de la distribución normal.

Hipótesis estadística

$H_0$ :  $p\text{-valor} > 5\%$

$H_1$ :  $p\text{-valor} \leq 5\%$

Se analizaron 30 datos de los parámetros del agua residual de una industria pesquera en la ciudad de Lima utilizando el software SPSS versión 26. A continuación, en la **Tabla 6**, se muestran los valores obtenidos:

**Tabla 6.** Prueba de normalidad de datos para Shapiro-Wilk

	Estadístico	Shapiro-Wilk gl	Sig.
pH	,890	30	,005
Temperatura	,743	30	,000
Conductividad	,737	30	,000
Oxígeno Disuelto	,451	30	,000
Turbidez	,602	30	,000
AyG	,840	30	,000
SST	,648	30	,000
DBO	,508	30	,000
DQO	,836	30	,000
Fósforo	,799	30	,000
Nitrógeno	,859	30	,001

### Regla de decisión:

Se concluye  $H_0$  si  $p\text{-valor} \leq 5\% = 0.050$  ( $H_1$ )

Se concluye  $H_1$  si el  $p\text{-valor} > 5\% = 0.050$  ( $H_0$ )

Conclusión: Como el nivel de significancia asintótica bilateral obtenido (0.000) es menor al nivel de significación ( $\alpha = 0.050 = 5\%$ ) entonces se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ), es decir se acepta que: La distribución de los datos proviene

de una no distribución normal, por lo que en la prueba de hipótesis se debe utilizar una prueba de Wilcoxon

### Prueba de la hipótesis general

Existe un efecto positivo de la electrocoagulación en la remoción de contaminaste del agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima, 2023.

#### Formulación de $H_x$ y $H_y$

$H_x$ : No existe un efecto positivo de la electrocoagulación en la remoción de contaminaste del agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima, 2023

$H_y$ : Existe un efecto positivo de la electrocoagulación en la remoción de contaminaste del agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima, 2023

#### Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Estadístico de prueba: Wilcoxon para muestras independientes, debido a que los datos de la caracterización del agua residual no siguen una distribución normal.

#### Tabla 7. Regla de decisión:

Estadísticos de prueba <sup>a</sup>	
	Despues - Antes
Z	-2,045 <sup>b</sup>
Sig. asintótica(bilateral)	,041

a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon

b. Se basa en rangos positivos.

Si el  $p\text{-valor} \geq 0,05$  se concluye  $H_x$

Si el  $p\text{-valor} < 0,05$  se concluye  $H_y$

**Conclusión:** La hipótesis nula ( $H_x$ ) es rechazada y la hipótesis alternativa ( $H_y$ ) es aceptada debido a que el valor de  $p$  (0,041) no supera el nivel de significancia ( $\alpha=0,050$ ), tal como se muestra en la **Tabla 7**. En otras palabras, se concluye que, con un nivel de confianza del 95%, la afirmación que existe un efecto positivo de la electrocoagulación en la remoción de contaminaste del agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima, 2023.

## V. DISCUSIÓN

En cuanto al **primero objetivo específico** que fue determinar la intensidad de corriente óptima en la remoción de contaminantes del agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima. Los hallazgos fueron que, la intensidad de corriente óptima fue el de 15 amperios, dado que contaminantes como la turbidez se redujo de 959 NTU a 168.44, Aceites y grasas de 103.4 mg/L a 33.29 mg/L, SST de 334.4mg/L a 57.83 mg/L, DBO<sub>5</sub> de 860 mg/L a 357.67 mg/L, DQO de 1017.33 mg/L a 653.44 mg/L, fósforo de 4.38 mg/L a 2.26 mg/L y nitrógeno de 7.14 mg/L a 3.42 mg/L.

Estos resultados son consistentes con los hallazgos de RODRÍGUEZ et al. (2021), quienes también determinaron que intensidades superiores a 12 amperios eran óptimas para la remoción de contaminantes (DQO, DBO<sub>5</sub> y Turbiedad) en aguas residuales mixtas. Asimismo, concuerda con RAMÓN (2021) que en su trabajo identificó que intensidades de corriente superiores a 2.5 A tuvieron mayor eficiencia en la remoción de contaminantes como SST reduciendo de 296.5 a 39.94 mg/L. DE igual manera guarda relación con CUBA (2020) que en su investigación determinó que la intensidad de corriente óptima para la remoción de contaminantes del agua residual fue de aquellos superiores a 5<sup>a</sup>, logrando evidenciar que los aceites y grasas se redujeron a 16.61 mg/L, la turbidez a 53.9 NTU, SST a 153 mg/L.

Esta similitud en los resultados refuerza la validez y la consistencia de los hallazgos, ya que ambas investigaciones convergen en la conclusión de que intensidades más altas, específicamente 15 amperios en este caso, son más efectivas en el proceso de electrocoagulación para la reducción de contaminantes.

Los hallazgos se respaldan en AGUILAR (2018) al mencionar que la energía (corriente) aplicada (solución), produce iones en fase disuelta mediante la oxidación del ánodo. Aquellos iones (en fase disuelta) inhabilitan las cargas que poseen los agentes tóxicos, a través de potencias electrostáticas, agrupando a los coloides, con el propósito de posteriormente generar flóculos. La coagulación produce flóculos y éstos incorporan a los coloides. También, se respaldan en LÓPEZ et al. (2021) al afirmar que los iones generados desestabilizan aquellas cargas que conforman los elementos tóxicos existentes en el agua. Aquellas cargas se

encuentren neutras, las partículas suspendidas se eliminan, otorgando la generación de agregados, originando el desarrollo de la coagulación. Aquellos que brindan electrodos (iones) liberan una serie de eliminación de contaminantes. Dicho ello, las partículas de contaminantes pueden presentar reacciones como son “hidrólisis, electrolisis, reacciones de ionización y producción de radicales libres”. Haciendo que se modifiquen las propiedades del agua (contaminantes), logrando de este modo su eliminación.

En cuanto al **segundo objetivo específico** fue determinar el tiempo óptimo en la remoción de contaminantes del agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima. Los resultados obtenidos revelan que el tiempo óptimo, establecido en 90 minutos, demostró ser efectivo en la reducción de diversos contaminantes.

En particular, la remoción de turbidez alcanzó su punto máximo a los 90 minutos, logrando una concentración reducida a 227.22 mg/L. Estos resultados están alineados con investigaciones previas, como el estudio de RAMÓN (2021), que también identificó un tiempo óptimo superior a 15 minutos, logrando una disminución sustancial de los sólidos suspendidos totales (SST) de 296.5 mg/L a 31.34 mg/L. De manera similar, los hallazgos coinciden con los de CUBA (2020), quien observó que tiempos superiores a los 15 minutos fueron óptimos para reducir los SST a 25 mg/L. Asimismo, la investigación de RIVAS Y ROJAS (2021), respalda estos resultados al evidenciar un tiempo óptimo de 60 minutos para la remoción de turbidez, obteniendo valores notables de 3.7 NTU, SST de 2.8 mg/L, DQO de 142.80 mg/L, DBO5 de 95.2 mg/L y aceites y grasas de 9 mg/L.

Los datos recopilados subrayan la consistencia en la eficacia del tiempo de tratamiento en diversas investigaciones, respaldando la validez de los resultados obtenidos en este estudio específico. La determinación del tiempo óptimo de tratamiento es crucial para la gestión efectiva de aguas residuales industriales. Este estudio proporciona datos valiosos que no solo son aplicables a la empresa pesquera de Lima en cuestión, sino que también contribuyen al conocimiento general sobre estrategias de tratamiento efectivas. Los resultados respaldan la importancia de considerar tiempos de tratamiento más prolongados para lograr una remoción eficiente de contaminantes, contribuyendo así a la sostenibilidad

ambiental y al cumplimiento de normativas regulatorias en el sector industrial pesquero.

Todo lo mencionado anteriormente se respalda en JING et al. (2021) al afirmar que El tiempo es esencial para permitir la formación adecuada de floculantes durante la electrocoagulación. La aplicación continua de corriente eléctrica promueve la coagulación de iones metálicos presentes en el agua, generando floculantes que atrapan partículas y contaminantes. La electrocoagulación implica varias reacciones químicas complejas, como la liberación de iones metálicos y la precipitación de hidróxidos metálicos. El tiempo adecuado garantiza que estas reacciones se completen, maximizando la eficiencia del proceso. Un tiempo de tratamiento suficiente es esencial para la degradación de la carga orgánica. La electrocoagulación puede influir en la descomposición de compuestos orgánicos, y un tiempo prolongado facilita la reducción de  $DBO_5$  y la DQO.

En cuanto al **tercer objetivo específico** determinar las características del agua residual industrial antes y después de la electrocoagulación de la empresa pesquera de Lima. Los hallazgos muestran que los valores antes de la electrocoagulación fueron: pH = 6.29, Temperatura = 23.3°C, Conductividad= 33.85 mS/cm, oxígeno disuelto = 1.18 mg/L, Turbidez = 959 NTU, Aceites y Grasas= 103.1 mg/L, SST = 334.4 mg/L,  $DBO_5$  = 861 mg/L, DQO= 1017.3 mg/L, fósforo = 4.38 mg/L y nitrógeno= 7.14mg/L. Luego del tratamiento, los resultados fueron en promedio de las tres repeticiones: pH = 6.91, Temperatura = 43.76°C, Conductividad= 24.13 mS/cm, oxígeno disuelto = 3.11 mg/L, Turbidez = 246.25 NTU, Aceites y Grasas= 48.20 mg/L, SST = 87.19 mg/L,  $DBO_5$  = 391.15 mg/L, DQO= 753.40 mg/L, fósforo = 2.81 mg/L y nitrógeno= 4.42mg/L.

Estos hallazgos son similares al estudio de PÉREZ (2018) que logró caracterizar el agua antes y después de la electrocoagulación, donde obtuvo resultados de SST=717 mg/L,  $DBO_5$  = 464.55 mg/L y DQO = 1055 mg/L. luego del tratamiento los resultados fueron: SST = 84.5 mg/L,  $DBO_5$  = 56.7 mg/L, DQO=460 mg/L. También concuerda con JAUREGUI Y MELO (2020) que en su investigación determinó las características del agua residual, donde evidenció que antes del tratamiento el valor de la turbidez fue de 211 NTU y del pH fue de 7.32; luego de la electrocoagulación

los valores fueron de 46.6 NTU y 8.95 de pH. Asimismo, guarda relación con NAVARRO (2022) que en su investigación realizó la caracterización del agua residual antes y después del tratamiento teniendo como resultado antes los siguiente: pH= 5.8, DBO<sub>5</sub>=1700 mg/L y DQO= 3500mg/L, y después del tratamiento los valores fueron de pH = 7.6, DBO<sub>5</sub> =40mg/L y DQO= 63mg/L. La similitud con estas investigaciones obedece a que, si bien es cierto se realizaron en distintos contextos demográficos donde la temperatura y el pH puede variar, sin embargo, el tratamiento fue el mismo, donde se aplicaron amperajes y tiempo similares. Es importante mencionar que la tendencia de la alcalinización del agua residual es debido a que los electrodos metálicos liberan iones metálicos, como aluminio o hierro, en el agua residual. Estos iones pueden reaccionar con iones hidroxilo (OH<sup>-</sup>) presentes en el medio acuoso, generando hidróxidos metálicos altamente básicos, lo que contribuye a un aumento en el pH del agua tratada (JING et al., 2021).

En cuanto al **cuarto objetivo específico** que fue determinar el porcentaje de remoción de contaminantes después de aplicar la electrocoagulación en el agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima. Los hallazgos fueron, la turbidez se redujo en un 76.3%, los aceites y grasa en 55.96%, SST en 76.65%, DBO<sub>5</sub> en 55.53%, DQO 26.80%, fósforo en 36.37% y nitrógeno en 40.11%, esto con relación al tiempo. Los resultados con relación a la intensidad de corriente fueron: turbiedad de 73.47%, AyG de 67.80%, SST de 82.70%, DBO<sub>5</sub> de 58.44%, DQO de 35.77%, fósforo de 48.38% y nitrógeno de 52.04%.

Estos resultados son similares al de EBBA et al. (2022) que lograron determinar que para el parámetro de DQO se removió en un 95.28%; la turbidez en un 83.33%. también concuerda con OKTIAWAN et al. (2021) que en su estudio evidenció la remoción del DQO de 95% y el SST de 94%. De igual forma, coincide con GASMI et al. (2022) que en su trabajo determinó que la DQO, color y turbidez se removieron en 63%, 99%, 96.31% respectivamente. De igual forma, concuerda con OLMOS y MONCALEANO (2021) que determinó 97.94% de remoción de turbiedad y 88.67% para DQO. Asimismo, concuerda con RODRÍGUEZ et al. (2021) que en su investigación determinó la DQO y la turbidez se removieron en un 96% y 94%. En esa línea, concuerda con MORALES et al. (2022) que en su investigación evidenció que la turbidez se removió en 99.27% y DQO en 70.83%. Asimismo, es similar al

estudio de RAMÓN (2021) se evidenció un porcentaje de remoción del SST de un 88%. Además, concuerda con CUBA (2020) que en su trabajo evidencio una remoción de 55% de SST, 75% de Turbiedad y 89% de DQO. También, concuerda con PÉREZ (2018) que en su investigación determinó que el SST se redujo en 88.22%, DBO<sub>5</sub> en 87.7% y DQO en 58.18%. También concuerda con NAVARRO (2022) que evidenció el porcentaje de 98% de remoción para DBO<sub>5</sub> y DQO 98%. La similitud entre estos estudios se debe a que, si bien es cierto que se llevaron a cabo en lugares y entornos climáticos diversos, el principio de la electrocoagulación sigue siendo el mismo. Por lo tanto, la semejanza en los resultados se explica por la consistencia en la aplicación de dicho principio, a pesar de las variaciones geográficas y climáticas en las ubicaciones de los estudios.

Además, estos hallazgos se respaldan en QUISPE et al. (2020) al afirmar que es indispensable caracterizar el agua residual con el propósito de conocer el estado actual de estas; por ello, también se tiene que considerar los siguientes parámetros como los sólidos totales en suspensión (SST), el pH, la conductividad, el color, la temperatura, el DQO, la DBO<sub>5</sub> y otros, que al presentar altas concentraciones son indicativos de contaminación.

En relación con el **objetivo general** que fue: determinar el efecto de la electrocoagulación en la remoción de contaminantes del agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima. Los hallazgos demuestran existe un efecto positivo de la electrocoagulación en la remoción de contaminaste del agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima. A una confianza del 95% y una p valor = 0.41.

Estos hallazgos son similares al estudio de MECOLA (2019) que determinó que la electrocoagulación es efectiva en la remoción de contaminantes presentes en el agua residual. Asimismo, concuerda con LAZO Y VILCA (2020) que en su investigación determinó la efectividad de la electrocoagulación dado que removió los contaminantes de las aguas residuales. De igual forma concuerdan con INDIGOYEN (2019) que evidenció cuan efectivo es el empleo de la electrocoagulación en la mitigación de contaminantes del agua residual. En esa

línea, concuerda con VELÁZQUEZ (2017) al determinar la efectividad de la electrocoagulación en la remoción de contaminantes.

Estos resultados subrayan la eficacia continua de la electrocoagulación en la eliminación de contaminantes del agua residual. Coincidiendo con el estudio de MECOLA (2019) se confirma la capacidad de este proceso para abordar de manera efectiva la presencia de contaminantes. Asimismo, la concordancia con los hallazgos de LAZO Y VILCA (2020) respalda la consistencia de la electrocoagulación en diversas condiciones y entornos. La efectividad comprobada en la investigación de INDIGOYEN (2019) y la corroboración de VELÁZQUEZ (2017) fortalecen la validez general de la electrocoagulación como una herramienta confiable y versátil para la remoción de contaminantes en el tratamiento de aguas residuales. Estas convergencias no solo destacan la robustez del método, sino que también sugieren su aplicabilidad en diferentes contextos y su relevancia continua en la gestión sostenible del agua residual.

Estos hallazgos se respaldan en BOINPALLY et al. (2023) al afirmar que una de las principales acciones que realiza la electrocoagulación es la desestabilización de agentes tóxicos, que se hallan suspendidas en un entorno acuático, en ello se impulsa corriente eléctrica mediante placas de material de metal paralelas, siendo el hierro y el aluminio los más usados. También se respalda en YASRI et al. (2020) al mencionar que la electrocoagulación se ha convertido en un tratamiento ampliamente utilizado en la industria para el tratamiento de aguas residuales, debido a su eficacia comprobada. Este proceso electroquímico ha demostrado ser altamente eficiente, permitiendo así preservar la calidad del agua. Es fundamental destacar que la electrocoagulación se basa en la desestabilización de las impurezas suspendidas mediante la aplicación de carga eléctrica. Este método no solo purifica el agua, sino que también posibilita su reutilización, gracias a su seguridad y su asequibilidad.

De igual forma se respalda en MOYA (2018) establece que la electrocoagulación es considerada como aquel método que conglo mer a las superioridades de coagulación y procedimientos electroquímicos, con la finalidad de suprimir contaminantes que se hallan presentes en los cuerpos de agua. Es imprescindible

detallar, que el fundamento de la electrocoagulación se basa en la inserción de corriente eléctrica mediante un par de electrodos hacia un sistema electrolítica, originando de este modo agentes desestabilizantes los cuales equilibre las cargas para la exclusión de los contaminantes.

Asimismo, es crucial considerar que la temperatura en el tratamiento de electrocoagulación puede influir en la eficiencia del método. A medida que la temperatura aumenta, se acelera la velocidad de las reacciones electroquímicas, lo que resulta en una mejora en la efectividad del proceso de coagulación, floculación y sedimentación de los contaminantes presentes en el agua o los efluentes. Por otra parte, la velocidad de las reacciones químicas y electroquímicas durante el tratamiento puede ser influenciada por la temperatura. A medida que la temperatura aumenta, se acelera la velocidad de las reacciones de oxidación, reducción y precipitación, lo que resulta en una mayor eficiencia en la eliminación de contaminantes (ALI et al., 2012).

En definitiva, los resultados de este estudio respaldan la eficacia de la electrocoagulación como un método fiable y efectivo para eliminar contaminantes en aguas residuales. La correspondencia de los hallazgos con investigaciones previas sugiere que este procedimiento no solo es resistente, sino también adaptable en diversas situaciones y entornos. La capacidad de la electrocoagulación para abordar la presencia de contaminantes en diferentes contextos destaca su versatilidad y confiabilidad. Estos resultados no solo contribuyen a la comprensión de la aplicación de tecnologías avanzadas de tratamiento, sino que también respaldan la consideración de la electrocoagulación como una herramienta valiosa y sostenible en la gestión efectiva del agua residual. Esta investigación sienta una base sólida para futuros proyectos y prácticas de gestión ambiental, subrayando la importancia continua de la electrocoagulación como un enfoque prometedor para abordar los desafíos relacionados con la calidad del agua.

## VI. CONCLUSIONES

1. La intensidad de corriente óptima en la remoción de contaminantes del agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima, fue de 15 amperios.
2. El tiempo óptimo en la remoción de contaminantes del agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima, fue de 90 minutos.
3. Las características del agua residual industrial antes y después de la electrocoagulación de la empresa pesquera de Lima. Los valores antes de la electrocoagulación fueron: pH = 6.29, Temperatura = 23.3°C, Conductividad= 33.85 mS/cm, oxígeno disuelto = 1.18 mg/L, Turbidez = 959 NTU, Aceites y Grasas= 103.1 mg/L, SST = 334.4 mg/L, DBO<sub>5</sub> = 861 mg/L, DQO= 1017.3 mg/L, fósforo = 4.38 mg/L y nitrógeno= 7.14mg/L. Luego del tratamiento, los resultados fueron en promedio de las tres repeticiones: pH = 6.91, Temperatura = 43.76°C, Conductividad= 24.13 mS/cm, oxígeno disuelto = 3.11 mg/L, Turbidez = 246.25 NTU, Aceites y Grasas= 48.20 mg/L, SST = 87.19 mg/L, DBO<sub>5</sub> = 391.15 mg/L, DQO= 753.40 mg/L, fósforo = 2.81 mg/L y nitrógeno= 4.42mg/L.
4. El porcentaje de remoción de contaminantes después de aplicar la electrocoagulación en el agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima, donde la turbidez se redujo en un 76.3%, los aceites y grasa en 55.96%, SST en 76.65%, DBO<sub>5</sub> en 55.53%, DQO 26.80%, fósforo en 36.37% y nitrógeno en 40.11%, esto con relación al tiempo. Con relación a la intensidad de corriente fueron: turbiedad de 73.47%, AyG de 67.80%, SST de 82.70%, DBO<sub>5</sub> de 58.44%, DQO de 35.77%, fósforo de 48.38% y nitrógeno de 52.04%.
5. El efecto de la electrocoagulación en la remoción de contaminantes del agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima, permitió remover las concentraciones de los contaminantes en el rango de 35% a 77%.

## VII. RECOMENDACIONES

1. Ampliar el alcance de la investigación sobre electrocoagulación explorando aplicaciones específicas en diferentes sectores industriales o regiones geográficas. Esto permitirá una comprensión más completa de cómo este método puede adaptarse y optimizarse para abordar desafíos específicos en distintos contextos.
2. Realizar investigaciones más detalladas sobre la influencia de los parámetros operativos, como la densidad de corriente, el tipo de electrodos y la duración del tratamiento. La optimización de estos factores contribuirá a un diseño más eficaz de los sistemas de tratamiento.
3. Realizar análisis más detallados sobre los costos asociados con la implementación de la electrocoagulación a gran escala y evalúen su sostenibilidad económica y ambiental. Comprender mejor los aspectos económicos y medioambientales permitirá una toma de decisiones informada en la aplicación práctica de esta tecnología.
4. Realizar investigaciones adicionales que incluyan un análisis exhaustivo del impacto ambiental y la toxicidad asociados con la aplicación de la electrocoagulación. Comprender cómo esta técnica afecta el medio ambiente circundante y evaluar la seguridad en términos de residuos generados o productos secundarios contribuirá a su implementación responsable y sostenible a largo plazo.

## REFERENCIAS

AGUILAR, E., 2018. Descontaminación del agua con electrocoagulación. Instituto de Investigación Científica [en línea]. [consulta: 3 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.ulima.edu.pe/node/11871>.

AGUILAR, J., BALDERAS, P., ROA, G., BARRERA, C., RODRÍGUEZ, I. y TORRES, T., 2023. Relationship, importance, and development of analytical techniques: COD, BOD, and, TOC in water—An overview through time. SN Applied Sciences [en línea], vol. 5, no. 4, [consulta: 3 mayo 2023]. ISSN 25233971. DOI 10.1007/S42452-023-05318-7/TABLES/4. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42452-023-05318-7>.

ALEXANDER, J., 2009. The Concept of Efficiency: An Historical Analysis. Philosophy of Technology and Engineering Sciences [en línea], [consulta: 3 mayo 2023]. DOI 10.1016/B978-0-444-51667-1.50041-0. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780444516671500410>.

ALI, E., YAAKOB, Z., ALI, E. y YAAKOB, Z., 2012. Electrocoagulation for Treatment of Industrial Effluents and Hydrogen Production. Electrolysis [en línea], [consulta: 29 junio 2023]. DOI 10.5772/48633. Disponible en: <https://www.intechopen.com/chapters/40138>.

AMAYA GÓMEZ, E.I., 2017. Ingeniería Sanitaria. . S.I.:

ARANGO, Á., 2005. La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. Lasallista de Investigación [en línea], vol. 2, no. 1, [consulta: 3 mayo 2023]. ISSN 1794-4449. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/695/69520109.pdf>.

ARANGO, Á., 2007. Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea. Revista Universidad EAFIT [en línea], vol. 43, no. 147, [consulta: 4 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/215/21514706.pdf>.

ARANGO, Á., 2012. Efectos del pH y la conductividad en la electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea. Producción + Limpia [en línea], vol. 7, no. 1, [consulta: 3 mayo 2023]. ISSN 1909-0455. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-04552012000100006&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552012000100006&lng=en&nrm=iso&tlng=es).

BAGHERZADEH, R., GORJI, M., SORAYANI BAFGI, M.S. y SAVEH-SHEMASHAKI, N., 2017. Electrospun conductive nanofibers for electronics. Electrospun Nanofibers

[en línea], [consulta: 3 mayo 2023]. DOI 10.1016/B978-0-08-100907-9.00018-0. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/conductivity#:~:text=Conductivity%20is%20a%20measure%20of,a%20groundwater%20well%20stabilization%20indicator>.

BANCO MUNDIAL, 2020. El agua residual puede generar beneficios para la gente, el medioambiente y las economías. Banco Mundial [en línea]. [consulta: 2 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2020/03/19/wastewater-a-resource-that-can-pay-dividends-for-people-the-environment-and-economies-says-world-bank>.

BARRERA, C., BALDERAS, P. y BILYEU, B., 2018. Electrocoagulation: Fundamentals and Prospectives. Electrochemical Water and Wastewater Treatment [en línea], [consulta: 3 mayo 2023]. DOI 10.1016/B978-0-12-813160-2.00003-1. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128131602000031>.

BOINPALLY, S., KOLLA, A., KAINTHOLA, J., KODALI, R. y VEMURI, J., 2023. A state-of-the-art review of the electrocoagulation technology for wastewater treatment. Water Cycle [en línea], vol. 4, [consulta: 3 mayo 2023]. ISSN 2666-4453. DOI 10.1016/J.WATCYC.2023.01.001. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666445323000016>.

CARRERA, J., MARÍA, M. y SUÁREZ, E., 2019. Aguas residuales industriales en Iberoamérica. Primera. S.I.: Red Tritón. ISBN 9788409134052.

CUBA, M., 2020. Tratamiento de agua residual procedente de lavadoras por el método de electrocoagulación para la reutilización en riego de vegetales - Ate Vitarte [en línea]. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. [consulta: 3 mayo 2023]. Disponible en: [https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/11734/Cuba\\_tm.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/11734/Cuba_tm.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

DROSTE, J., 2013. Depuraciones biológicas de las aguas residuales. Doc Player [en línea]. [consulta: 3 mayo 2023]. Disponible en: <https://docplayer.es/7280904-Capitulo-3-depuracion-biologica-de-las-aguas-residuales-urbanas.html>.

DURÁN, A., ÁLVAREZ, J., GONZÁLEZ, E. y RÍO, M., 2020. Wastewater Management: Bibliometric Analysis of Scientific Literature. Water 2020, Vol. 12, Page 2963 [en línea], vol. 12, no. 11, [consulta: 19 noviembre 2023]. ISSN 2073-4441. DOI 10.3390/W12112963. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/11/2963/htm>.

EBBA, M., ASAITHAMBI, P. y ALEMAYEHU, E., 2022. Development of electrocoagulation process for wastewater treatment: optimization by response surface methodology. Heliyon [en línea], vol. 8, no. 5, [consulta: 2 mayo 2023]. ISSN 24058440. DOI 10.1016/J.HELİYON.2022.E09383. Disponible en: [/pmc/articles/PMC9111894/](https://pmc/articles/PMC9111894/).

EHALT, H., LEHNER, B., NICELL, J., GRILL, G., LI, J., LIMYONG, A. y SHALYA, R., 2022. Distribution and characteristics of wastewater treatment plants within the global river network. Earth System Science Data [en línea], vol. 14, no. 2, [consulta: 3 mayo 2023]. ISSN 18663516. DOI 10.5194/ESSD-14-559-2022. Disponible en: <https://essd.copernicus.org/articles/14/559/2022/>.

GASMI, A., IBRAHIMI, S., ELBOUGHDIRI, N., TEKAYA, M.A., GHERNAOUT, D., HANNACHI, A., MESLOUB, A., AYADI, B. y KOLSI, L., 2022. Comparative Study of Chemical Coagulation and Electrocoagulation for the Treatment of Real Textile Wastewater: Optimization and Operating Cost Estimation. ACS Omega [en línea], [consulta: 2 mayo 2023]. DOI 10.1021/acsomega.2c01652. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c01652>.

GENESIS WATER TECHNOLOGIES, 2019. Beneficios de la electrocoagulación para la remediación de aguas residuales de refinería -. Genesis Water Technologies [en línea]. [consulta: 2 mayo 2023]. Disponible en: <https://es.genesiswatertech.com/entrada-en-el-blog/beneficios-de-la-electrocoagulaci%C3%B3n-para-la-remediaci%C3%B3n-de-aguas-residuales-de-refiner%C3%ADa/>.

GHANGREKAR, M., 2022. Wastewater to Water. Wastewater to Water [en línea], [consulta: 2 mayo 2023]. DOI 10.1007/978-981-19-4048-4. Disponible en: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-19-4048-4>.

HAMADA, M., GHALWA, N.A., FARHAT, N.B., AL MAHLLAWI, K. y JAMEE, N., 2018. Optimization of Electrocoagulation on Removal of Wastewater Pollutants. , DOI 10.4172/2252-5211.1000357.

HANSEN, D.S., BRAM, M.V., LAURIDSEN, S.M.Ø. y YANG, Z., 2021. Online Quality Measurements of Total Suspended Solids for Offshore Reinjection: A Review Study. Energies 2021, Vol. 14, Page 967 [en línea], vol. 14, no. 4, [consulta: 19 noviembre 2023]. ISSN 1996-1073. DOI 10.3390/EN14040967. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/4/967/htm>.

HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, P., 2014. Metodología de la investigación [en línea]. Sexta. S.l.: MacGraw Hill. [consulta: 3 mayo 2023]. ISBN 978-1-4562-2396-0. Disponible en: <https://www.esup.edu.pe/wp->

content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-  
Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf.

IDIGOYEN, D., 2019. Remoción de materia orgánica de aguas residuales de la industria láctea por el método de electrocoagulación, utilizando energía eólica. [en línea]. Huancayo: [consulta: 2 mayo 2023]. Disponible en: [https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5293/T010\\_20403445\\_D.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5293/T010_20403445_D.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

INACAL, 2021. Acreditación de laboratorio. Instituto Nacional de Acreditación de Calidad [en línea]. [consulta: 3 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.gob.pe/14371-solicitar-servicios-de-acreditacion-del-inacal>.

INEI, 2022. Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales 2022. [en línea]. Lima: [consulta: 2 mayo 2023]. Disponible en: [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1877/libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1877/libro.pdf).

JAUREGUI, F. y BALTAZAR, M., 2020. Tratamiento de las aguas residuales de la PTAR Covicorti-Trujillo mediante el método de electrocoagulación [en línea]. Trujillo: Universidad Cesar Vallejo. [consulta: 2 mayo 2023]. Disponible en: [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/53759/B\\_Jauregui\\_S\\_FDP-Melo\\_GBA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/53759/B_Jauregui_S_FDP-Melo_GBA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

JING, G., REN, S., POOLEY, S., SUN, W., KOWALCZUK, P.B. y GAO, Z., 2021. Electrocoagulation for industrial wastewater treatment: an updated review. Environmental Science: Water Research & Technology [en línea], vol. 7, no. 7, [consulta: 19 noviembre 2023]. ISSN 2053-1419. DOI 10.1039/D1EW00158B. Disponible en: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2021/ew/d1ew00158b>.

KIRZHNER, F., ZIMMELS, Y. y SHRAIBER, Y., 2008. Combined treatment of highly contaminated winery wastewater. Separation and Purification Technology [en línea], vol. 63, no. 1, [consulta: 3 mayo 2023]. ISSN 1383-5866. DOI 10.1016/J.SEPUR.2008.03.034. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383586608001421>.

KUNST, S., MENNERICH, A. y WICHERN, M., 2002. Wastewater Treatment. Sustainable Water and Soil Management [en línea], [consulta: 2 mayo 2023]. DOI 10.1007/978-3-642-59390-1\_6. Disponible en: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-59390-1\\_6](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-59390-1_6).

LÓPEZ, M., FLORES, M.A. y REYNOSO, L., 2021. Electrocoagulation process: An approach to continuous processes, reactors design, pharmaceuticals removal, and hybrid systems—a review. 1 octubre 2021. S.l.: MDPI.

MAMELKINA, M., 2020. Treatment of mining Waters by Electrocoagulation [en línea]. primera. S.l.: Lahti University of Technology . [consulta: 25 junio 2023]. ISBN 9789523354920. Disponible en: <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/160650/Maria%20Mamelkina%20A4.pdf?sequence=1>.

MANASA, R. y MEHTA, A., 2020. Wastewater: Sources of Pollutants and Its Remediation. [en línea], [consulta: 3 mayo 2023]. DOI 10.1007/978-3-030-38196-7\_9. Disponible en: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-38196-7\\_9](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-38196-7_9). MAQSOOD, A., RASHID, H., KHAN, S.N., NASIR, A., AMAN, N., ULLAH, A.S., AHMAD, ASLAM, R.A., KHAN, H.M.S. y AKBAR, M.U., 2023. Wastewater Characterization of Chiniot Drain and Evaluation of Groundwater Contamination Using Water Quality Index (WQI) and GIS Techniques. Pollutants 2023, Vol. 3, Pages 27-42 [en línea], vol. 3, no. 1, [consulta: 3 mayo 2023]. ISSN 2673-4672. DOI 10.3390/POLLUTANTS3010003. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2673-4672/3/1/3/htm>.

MARTÍNEZ, F., 2007. Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional [en línea]. Primera. Ciudad Real: Universidad de Castilla- la Mancha. [consulta: 3 mayo 2023]. ISBN 978-84-8427-606-7. Disponible en: <https://ruidera.uclm.es/xmlui/bitstream/handle/10578/984/251%20Tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20industriales.pdf>.

MAYTA, R. y MAYTA, J., 2017. Remoción de cromo y demanda química de oxígeno de aguas residuales de curtiembre por electrocoagulación. Revista de la Sociedad Química del Perú [en línea], vol. 83, no. 3, [consulta: 19 noviembre 2023]. ISSN 1810-634X. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2017000300008&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2017000300008&lng=es&nrm=iso&tlng=es).

MECOLA, N., 2019. Efecto de la electrocoagulación en la concentración de materia orgánica de aguas residuales de la Universidad Nacional de Trujillo. Revista Ciencia y Tecnología [en línea], [consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/PGM/article/view/2382/2415>.

METCALF y EDDY, 2010. Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización,. S.l.: s.n. ISBN 8448216062.

MINAM, 2015. Estándares de Calidad Ambiental para Agua . MINAM aprobó Estándares de Calidad Ambiental para Agua [en línea]. [consulta: 3 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/notas-de-prensa/lima-30-de-diciembre-de-2015-mediante-decreto-supremo-no-015-2015-minam-publicado-el-19-de->

[diciembre-de-2015-en-el-diario-oficial-el-peruano-el-ministerio-del-ambiente-minam-en-coordinacion/](#).

MINAM, 2017. Límite Máximo Permisible (LMP). InfoairePeru [en línea]. [consulta: 3 mayo 2023]. Disponible en: <https://infoaireperu.minam.gob.pe/limite-maximo-permisible-lmp/>.

MORALES, A., TEUTLI, E., LINARES, I., MARTÍNEZ, V., GARCÍA, M. y ROA, G., 2022. Optimization of the Electrocoagulation Process with Aluminum Electrodes for Rainwater Treatment. *Frontiers in Environmental Science* [en línea], vol. 10, [consulta: 2 mayo 2023]. ISSN 2296665X. DOI 10.3389/FENVS.2022.860011/BIBTEX. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2022.860011/full>.

MORIN, N., LCHTFOUSE, E., LADO, A., NOUTSOPOULOS, F., FENYVESI, E., GURGEL, M., PISCO, L., MORENO, J., GIRALDO, L., SOHAJDA, T., MAHMUDUL, M., SOLTÁN, J., MAGUREANU, M., BRADU, C. y CRINI, G., 2022. Removal of emerging contaminants from wastewater using advanced treatments. A review. *Environmental Chemistry Letters* 2022 20:2 [en línea], vol. 20, no. 2, [consulta: 3 mayo 2023]. ISSN 1610-3661. DOI 10.1007/S10311-021-01379-5. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-021-01379-5>.

MOSTAFAIE, A., CARDOSO, D.N., KAMALI, M. y LOUREIRO, S., 2021. A scientometric study on industrial effluent and sludge toxicity. *Toxics* [en línea], vol. 9, no. 8, [consulta: 3 mayo 2023]. ISSN 23056304. DOI 10.3390/TOXICS9080176. Disponible en: <https://encyclopedia.pub/entry/13888>.

MOYA, J., 2018. Tecnologías electroquímicas en el tratamiento de aguas: electrocoagulación. [en línea], [consulta: 3 mayo 2023]. Disponible en: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/86621/1/Tema-TECNOLOGIAS-ELECTROQUIMICAS.pdf>.

NAVARRO, J., 2022. Tiempo de tratamiento de un sistema de electrocoagulación para la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno de los efluentes generados en la PTARI de Agropecuaria Rossel SRL. [en línea]. Pucallpa: Universidad Nacional de Ucayali. [consulta: 2 mayo 2023]. Disponible en: [http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/5618/B8\\_2022\\_UNU\\_AMBIENTAL\\_T\\_2022\\_JOSUE\\_NAVARO\\_V1.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/5618/B8_2022_UNU_AMBIENTAL_T_2022_JOSUE_NAVARO_V1.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

OEFA, 2014. Aguas Residuales. [en línea]. Lima: [consulta: 2 mayo 2023]. Disponible en: [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827).

OKTIAWAN, W., PRIYAMBADA, B., AJI, S. y BUDI, F., 2021. Effect of current strength on electrocoagulation using Al-Fe electrodes in COD and TSS removal of domestic wastewater. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science [en línea], vol. 623, no. 1, [consulta: 2 mayo 2023]. ISSN 1755-1315. DOI 10.1088/1755-1315/623/1/012080. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/623/1/012080>.

OLMOS, D. y MONCALEANO, J., 2021. Evaluación de la eficiencia de la electrocoagulación en aguas residuales textiles utilizando como electrodo el aluminio [en línea]. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. [consulta: 2 mayo 2023]. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/29904/OlmosBonillaDianaMarcela%26MoncaleanoGuayaraJuanNicolas2021.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

ONU, 2021a. Progreso en el tratamiento de las aguas residuales. [en línea]. S.I.: [consulta: 2 mayo 2023]. Disponible en: [https://unhabitat.org/sites/default/files/2021/10/sdq6\\_indicator\\_report\\_631\\_progress-on-wastewater-treatment\\_2021\\_es.pdf](https://unhabitat.org/sites/default/files/2021/10/sdq6_indicator_report_631_progress-on-wastewater-treatment_2021_es.pdf).

ONU, 2021b. Resumen actualizados de 2021 sobre los progresos en el ODS6: agua y saneamiento para todos. [en línea]. S.I.: [consulta: 2 mayo 2023]. Disponible en: [https://www.unwater.org/sites/default/files/app/uploads/2021/12/SDG-6-Summary-Progress-Update-2021\\_Version-July-2021\\_SP.pdf](https://www.unwater.org/sites/default/files/app/uploads/2021/12/SDG-6-Summary-Progress-Update-2021_Version-July-2021_SP.pdf).

PEREZ, L., 2018. Uso de la electrocoagulación para reducir la carga de contaminantes en la planta de tratamiento de aguas residuales Ajeper-Huachipa 2017 II [en línea]. Lima: Universidad Cesar Vallejo. [consulta: 2 mayo 2023]. Disponible en: [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/20565/Perez\\_BLS.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/20565/Perez_BLS.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

PERICO, R., GALARZA, E., DÍAZ, M., ARÉVALO, H. y PERICO, N., 2020. Guía práctica de investigación en Ingeniería [en línea]. Primera. S.I.: Uniminuto. [consulta: 3 mayo 2023]. ISBN 9789587634167. Disponible en: <https://tinyurl.com/bib99959>.

PRODUCE, 2008. Límites máximos permisibles (LMP) para la Industria de Harina y Aceite de Pescado y Normas Complementarias [en línea]. 2008. S.I.: Ministerio de Producción. [consulta: 4 mayo 2023]. Decreto Supremo N° 010-2008-PRODUCE. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/limites-maximos-permisibles-lmp-industria-harina-aceite-pescado-normas>.

PUCP, 2018. La situación de las aguas residuales en Lima - Clima de cambios PUCP. [en línea]. [consulta: 2 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.pucp.edu.pe/climadecambios/noticias/la-situacion-de-las-aguas-residuales-en-lima/>.

QUISPE, M., PIÑAS, L., DEL VALLE, J. y AGUIRRE, F., 2020. Aplicaciones tecnológicas de tratamiento de aguas residuales. S.l.: s.n. ISBN 978-607-98840-5-5.

RAMÓN, Y., 2021. Aplicación de la electrocagulación como alternativa de remoción de sólidos suspendidos totales presentes en las aguas residuales generadas en el distrito de San Pedro de Saño, 2020. [en línea]. Pregrado. S.l.: Universidad Continental. [consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10394/1/IV\\_FIN\\_107\\_TE\\_Ram%C3%B3n\\_C%C3%B3rdova\\_2021.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10394/1/IV_FIN_107_TE_Ram%C3%B3n_C%C3%B3rdova_2021.pdf).

RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 00271-2020- PRODUCE, 2020. Aprueban el “Protocolo para el Monitoreo de Efluentes de los Establecimientos Industriales Pesqueros de Consumo Humano Directo e Indirecto”. [en línea]. [consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-protocolo-monitoreo-efluentes-establecimientos-industriales>.

RODRÍGUEZ, J., FUENTES, M., BELEÑO, Ó. y MONTOYA, L., 2021. Electrocoagulación como alternativa de tratamiento de aguas residuales mixtas originadas en la industria del procesamiento de lácteos y cárnicos. Tecnura [en línea], vol. 25, no. 67, [consulta: 2 mayo 2023]. ISSN 0123-921X. DOI 10.14483/22487638.15769. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-921X2021000100026&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X2021000100026&lng=en&nrm=iso&tlng=es).

SÁNCHEZ, H., REYES, C. y MEJÍA, K., 2018. Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística [en línea]. primera. S.l.: Universidad Ricardo Palma. [consulta: 3 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.urp.edu.pe/pdf/id/13350/n/libro-manual-de-terminos-en-investigacion.pdf>.

SETTE, R., 2003. Tratamiento de aguas residuales [en línea]. Primera. S.l.: Reverté S.A. [consulta: 3 mayo 2023]. Disponible en: [https://books.google.com.pe/books?id=30etGjzPXyWC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=30etGjzPXyWC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false).

SITTERLEY, K., ROSENBLUM, J., RUYLE, B., KELIHER, R. y LINDEN, K.G., 2020. Factors impacting electrocoagulation treatment of hydraulic fracturing fluids and

removal of common fluid additives and scaling ions. Journal of Environmental Chemical Engineering [en línea], vol. 8, no. 3, [consulta: 3 mayo 2023]. ISSN 2213-3437. DOI 10.1016/J.JECE.2020.103728. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343720300762>.

TAHREEN, A., JAMI, M.S. y ALI, F., 2020. Role of electrocoagulation in wastewater treatment: A developmental review. Journal of Water Process Engineering [en línea], vol. 37, [consulta: 2 mayo 2023]. ISSN 2214-7144. DOI 10.1016/J.JWPE.2020.101440. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214714420303184>.

TRIOLA, M., 2009. Estadística [en línea]. Décima. S.l.: Pearson. [consulta: 3 mayo 2023]. ISBN 978-970-26-1287-2. Disponible en: [www.pearsoneducacion.net](http://www.pearsoneducacion.net).

TUHOLSKE, C., HALPERN, B.S., BLASCO, G., VILLASENOR, J.C., FRAZIER, M. y CAYLOR, K., 2021. Mapping global inputs and impacts from of human sewage in coastal ecosystems. PLoS ONE [en línea], vol. 16, no. 11 November, [consulta: 2 mayo 2023]. ISSN 19326203. DOI 10.1371/JOURNAL.PONE.0258898. Disponible en: <https://es.mongabay.com/2022/02/nuevo-informe-revela-cadena-de-danos-que-provocan-las-aguas-residuales-al-planeta/>.

UNESCO, 2023. América Latina necesita «una nueva cultura del agua» . [en línea]. S.l.: [consulta: 2 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.dw.com/es/am%C3%A9rica-latina-necesita-una-nueva-cultura-del-agua/a-65073064>.

UNIVERSIDAD DE ALICANTE, 2021. Tratamiento de aguas residuales por métodos electroquímicos. LEQA - Grupo de Electroquímica Aplicada y Electrocatálisis. LEQA y el medio ambiente [en línea]. [consulta: 3 mayo 2023]. Disponible en: <https://web.ua.es/es/leqa/tratamiento-de-aguas-residuales-por-metodos-electroquimicos.html>.

VARA, A., 2008. 7pasos para una tesis exitosa [en línea]. Segunda. S.l.: Universidad San Martín de Porres. [consulta: 3 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.administracion.usmp.edu.pe/investigacion/files/7-PASOS-PARA-UNA-TESIS-EXITOSA-Desde-la-idea-inicial-hasta-la-sustentaci%C3%B3n.pdf>.

VELASQUEZ, A., 2017. Reducción de carga orgánica en el tratamiento avanzado de aguas residuales del camal municipal de Chupaca mediante el método de electrocoagulación - Junín [en línea]. Huancayo: Universidad Alas Peruanas. [consulta: 2 mayo 2023]. Disponible en: [https://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12990/1651/Tesis\\_Aguas%20Residuales.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12990/1651/Tesis_Aguas%20Residuales.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

VILCA, Y.E. y LAZO, A.G.A., 2020. Tratamiento de aguas residuales procedentes de la industria láctea mediante el proceso de electrocoagulación [en línea]. S.l.: s.n. [consulta: 2 mayo 2023]. Disponible en: [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNSA\\_71faba0a6c30807290a77753a1d76d99](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNSA_71faba0a6c30807290a77753a1d76d99).

WIDYARANI, WULAN, D., HAMIDAH, U., KOMARULZAMAN, A., ROSMALINA, R. y SINTAWARDANI, N., 2022. Domestic wastewater in Indonesia: generation, characteristics and treatment. Environmental Science and Pollution Research [en línea], vol. 29, no. 22, [consulta: 3 mayo 2023]. ISSN 16147499. DOI 10.1007/S11356-022-19057-6/TABLES/4. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-022-19057-6>.

WOODSIDE, J., 2022. Understanding Turbidity, TDS, and TSS. What is the difference among turbidity, TDS, and TSS? [en línea]. [consulta: 3 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.ysi.com/ysi-blog/water-blogged-blog/2022/05/understanding-turbidity-tds-and-tss>.

YASRI, N., HU, J., KIBRIA, M.G. y ROBERTS, E.P.L., 2020. Electrocoagulation Separation Processes. ACS Symposium Series [en línea], vol. 1348, [consulta: 19 noviembre 2023]. ISSN 19475918. DOI 10.1021/BK-2020-1348.CH006. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/bk-2020-1348.ch006>.

## **ANEXOS**

**Tabla 6**

*Operacionalización de variables*

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Unidades	Escala
<b>Electrocoagulación</b>	Es un procedimiento donde se emplea la corriente eléctrica con el propósito de brindar un tratamiento y flocular impurezas, sin tener la necesidad u obligación de adicionar sustancias químicas. Cabe mencionar que, dicho método es ampliamente empleado con el propósito de ejecutar un tratamiento a las aguas servidas (BOINPALLY et al., 2023).	Para la evaluación de la experimentación empleando la electrocoagulación se consideró al tiempo (min) y la intensidad de corriente (Amperios)	Intensidad	6	A	Razón
				10	A	Razón
				15	A	Razón
			Tiempo	(30,60 y 90) minutos	min	Razón
<b>Remoción de contaminantes</b>	Consiste en un conjunto de procesos destinados a reducir o eliminar la presencia de compuestos y elementos dañinos que se encuentran en pequeñas cantidades en el agua residual (MORIN et al. 2022).	Para la determinación del efecto se analizaron los parámetros de C.E, Temperatura, pH, Coliformes termo tolerantes, DBO5, DQO, Aceites y grasas, SST, fosforo total, nitrógeno total.	Características del agua residual, antes y después de aplicar la E.C	Conductividad Eléctrica	□S/cm	Razón
				Temperatura	°C	Razón
				pH	pH	Razón
				Coliformes termo tolerantes	mg/L	Razón
				DBO <sub>5</sub>	mg/L	Razón
				DQO	mg/L	Razón
				Aceites y grasas	mg/L	Razón
				SST	mg/L	Razón
				Fosforo total	mg/L	Razón
				Nitrógeno total	mg/L	Razón
LMP	pH	Razón				
	mg/L	Razón				
	% de remoción	$\%R = ((C_f - C_i) / C_i) * 100$	%	Razón		

## ANEXO 2

### Matriz de consistencia

Título: Efecto de la electrocoagulación en la remoción de contaminantes del agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima, 2023.

Autores: Chinchay Revolledo, Yenny Carolina / Guardia Ríos, Elliot Joule

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES Y DIMENSIONES	METODOLOGÍA
<p><b>Problema General:</b> ¿Cuál es el efecto de la electrocoagulación en la remoción de contaminantes del agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima, 2023?</p> <p><b>Problemas Específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cuál es la intensidad de corriente óptima en la remoción de contaminantes del agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima, 2023?</li> <li>• ¿Cuál es el tiempo óptimo en la remoción de contaminantes del agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima, 2023?</li> <li>• ¿Cuáles son las características del agua residual industrial antes y después de la electrocoagulación de la empresa pesquera de Lima 2023?</li> <li>• ¿Cuál es el porcentaje de remoción de contaminantes después de aplicar la electrocoagulación en el agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima, 2023?</li> </ul>	<p><b>Objetivo General:</b> Determinar el efecto de la electrocoagulación en la remoción de contaminantes del agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima, 2023.</p> <p><b>Objetivos Específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar la intensidad de corriente óptima en la remoción de contaminantes del agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima, 2023.</li> <li>• Determinar el tiempo óptimo en la remoción de contaminantes del agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima, 2023.</li> <li>• Determinar las características del agua residual industrial antes y después de la electrocoagulación de la empresa pesquera de Lima 2023.</li> <li>• Determinar el porcentaje de remoción de contaminantes después de aplicar la electrocoagulación en el agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima, 2023.</li> </ul>	<p><b>Hipótesis General:</b> Existe un efecto positivo de la electrocoagulación en la remoción de contaminantes del agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima, 2023.</p> <p><b>Objetivos Específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La intensidad de corriente óptima en la remoción de los contaminantes del agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima, 2023 es de 15 A.</li> <li>• El tiempo óptimo para la remoción de contaminantes del agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima, 2023 es de 90 min.</li> <li>• Las aguas residuales de la empresa pesquera de Lima disminuirán sus características finales después de aplicar la electrocoagulación, 2023.</li> <li>• Existe un porcentaje alto entre 60 y 80% de remoción de contaminantes después de aplicar la electrocoagulación en el agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima, 2023.</li> </ul>	<p><b>Variable independiente:</b> Electrocoagulación.</p> <p><b>Variable dependiente:</b> Remoción de contaminantes</p>	<p><b>Tipo de Investigación:</b> Aplicado</p> <p><b>Nivel de Investigación:</b> Explicativo</p> <p><b>Método:</b> Observación</p> <p><b>Diseño:</b> Experimental, factorial</p> <p><b>Población:</b> Agua residual de la empresa pesquera</p> <p><b>Muestra:</b> 30 L de agua residual</p> <p><b>Muestreo:</b> <b>Técnicas:</b> Observación</p> <p><b>Instrumentos:</b> Ficha de observación, cadena de custodia</p>

### ANEXO 3

#### Propuesta del instrumento

**Instrumento 1:** Concentración inicial y final

**Título de la investigación:** “Efecto de la electrocoagulación en la remoción de contaminantes del agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima, 2023”,

**Objetivo:** Determinar el tiempo, intensidad de corriente eléctrica y la eficiencia del método, con el propósito de aportar información vinculada al tratamiento de aguas residuales de una empresa pesquera, Lima 2023.

**Tesistas:** Chinchay Revolledo, Yenny Carolina / Guardia Ríos, Joule Elliot

**Fecha:**

Ficha de observación					
Parámetros	Concentración Inicial	Tiempo (min)	Concentración Final		
			Intensidad de corriente suministrada (A).		
			6	10	15
<b>Conductividad Eléctrica</b> ( $\mu\text{S/cm}$ )		30			
		60			
		90			
<b>Temperatura</b> ( $^{\circ}\text{C}$ )		30			
		60			
		90			
<b>pH</b>		30			
		60			
		90			
<b>Coliformes termo tolerantes</b> (mg/L)		30			
		60			
		90			
<b>DBO5</b> (mg/L)		30			
		60			
		90			
<b>DQO</b> (mg/L)		30			
		60			
		90			
<b>Aceites y Grasas</b> (mg/L)		30			
		60			
		90			
<b>SST</b> (mg/L)		30			
		60			
		90			
<b>Fósforo total</b> (mg/L)		30			
		60			
		90			
<b>Nitrógeno total</b> (mg/L)		30			
		60			
		90			

  
 Dr. Ing. JUAN JULIO ORDÓÑEZ GALVEZ  
 DNI: 08447308  
 CIP: 89772

## Instrumento 2: Porcentaje de remoción

**Título de la investigación:** “Efecto de la electrocoagulación en la remoción de contaminantes del agua residual industrial de una empresa pesquera de Lima, 2023”,

**Objetivo:** Determinar el tiempo, intensidad de corriente eléctrica y la eficiencia del método, con el propósito de aportar información vinculada al tratamiento de aguas residuales de una empresa pesquera, Lima 2023.

**Tesistas:** Chinchay Revolledo, Yenny Carolina / Guardia Ríos, Joule Elliot

**Fecha:**

Parámetro	Porcentaje de remoción (%)			
	Tiempo (min)	Intensidad de corriente suministrada(A).		
		6	10	15
Coliformes termotolerantes (mg/L)	30			
	60			
	90			
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	30			
	60			
	90			
DQO (mg/L)	30			
	60			
	90			
Aceites y Grasas (mg/L)	30			
	60			
	90			
SST (mg/L)	30			
	60			
	90			
Fósforo total (mg/L)	30			
	60			
	90			
Nitrógeno total (mg/L)	30			
	60			
	90			

  
Dr. Ing. JUAN JULIO ORDOÑEZ GALVEZ  
DNI: 08447308  
CIP: 89772

## ANEXO 4 VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

#### I. DATOS GENERALES

- 1.1 Apellidos y Nombres: VALVERDE FLORES JHONNY  
 1.2 Cargo e institución donde labora: **Docente de la Investigación**  
 1.3 Especialidad o Línea de Investigación: **Tratamiento y gestión de residuos**  
 1.4 Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Ficha de concentración inicial y final**  
 1.5 Autor(A) de Instrumento: **Yenny Carolina Chinchay Revollo y Joule Elliot Guardia Ríos**

#### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MÍNIMAMENTE ACEPTABLE				ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

#### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

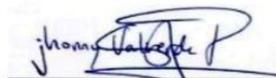
- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X

#### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90 %

Lima, ...30 de junio del 2023



Dr. Jhonny W. Valverde Flores  
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2526-112X>  
 Scopus ID Author: 57196412905  
 CIP: 79862

**VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO**

**II. DATOS GENERALES**

- 1.1 Apellidos y Nombres: VALVERDE FLORES JHONNY
- 1.2 Cargo e institución donde labora: **Docente de la Investigación**
- 1.3 Especialidad o Línea de Investigación: **Tratamiento y gestión de residuos**
- 1.4 Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Ficha del porcentaje de remoción**
- 1.5 Autor(A) de Instrumento: **Yenny Carolina Chinchay Revolledo y Joule Elliot Guardia Ríos**

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MÍNIMAMENTE ACEPTABLE				ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X			
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X			
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X			
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X			
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X			
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X			
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X			
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X			
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X			
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X			

**III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X

**IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:**

**90 %**

Lima, 30 de junio del 2023



Dr. Jhonny W. Valverde Flores  
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2526-112X>  
 Scopus ID Author: 57196412905  
 CIP: 79862

**VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO**
**I. DATOS GENERALES**

- 1.1 Apellidos y Nombres: Dr. Rubén Munive Cerrón  
 1.2 Cargo e institución donde labora: **Docente de la Investigación**  
 1.3 Especialidad o Línea de Investigación: **Tratamiento y gestión de residuos**  
 1.4 Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Ficha de observación**  
 1.5 Autor(A) de Instrumento: **Yenny Carolina Chinchay Revollo y Joule Elliot Guardia Ríos**

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MÍNIMAMENTE ACEPTABLE				ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.										X				
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.										X				
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.										X				
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.										X				
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales										X				
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.										X				
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.										X				
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.										X				
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.										X				
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.										X				

**III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X

**IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:**

<b>85 %</b>
-------------

Lima 03 de julio del 2023



FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE  
 DNI No 19889810. Telf.: 964538375

**VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO**
**II. DATOS GENERALES**

- 1.1 Apellidos y Nombres: Dr. Rubén **Munive Cerrón**  
 1.2 Cargo e institución donde labora: **Docente de la Investigación**  
 1.3 Especialidad o Línea de Investigación: **Tratamiento y gestión de residuos**  
 1.4 Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Ficha de observación**  
 1.5 Autor(A) de Instrumento: **Yenny Carolina Chinchay Revollo y Joule Elliot Guardia Ríos**

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MÍNIMAMENTE ACEPTABLE				ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.										X			
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.										X			
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.										X			
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.										X			
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales										X			
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.										X			
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.										X			
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.										X			
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.										X			
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.										X			

**III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X

**IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:**

85 %
------

Lima 03 de julio del 2023



 FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE  
 DNI No 19889810. Telf.: 964538375

**I. DATOS GENERALES**

- 1.1 Apellidos y Nombres: **ORDÓÑEZ GALVEZ, JUAN JULIO**
- 1.2 Cargo e institución donde labora: **Docente de la Investigación**
- 1.3 Especialidad o Línea de Investigación: **Tratamiento y gestión de residuos**
- 1.4 Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Ficha de observación**
- 1.5 Autor(A) de Instrumento: **Yenny Carolina Chinchay Revollo y Joule Elliot Guardia Ríos**

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MÍNIMAMENTE ACEPTABLE				ACEPTABLE		
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

**III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación

SI

**IV. PR** - El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

**OMEDIO DE VALORACIÓN:**

90 %



Lima, 10 de junio del 2023

 FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE  
 DNI N° 08447308 Telf.: 991568552

**VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO**
**II. DATOS GENERALES**

- 1.1 Apellidos y Nombres: **ORDOÑEZ GALVEZ, JUAN JULIO**
- 1.2 Cargo e institución donde labora: **Docente de la Investigación**
- 1.3 Especialidad o Línea de Investigación: **Tratamiento y gestión de residuos**
- 1.4 Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Ficha de observación**
- 1.5 Autor(A) de Instrumento: **Yenny Carolina Chinchay Revolledo y Joule Elliot Guardia Ríos**

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MÍNIMAMENTE ACEPTABLE				ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X		
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X		

**III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación

SI

**IV. PR** - El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

**OMEDIO DE VALORACIÓN:**

90 %

  
 FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE  
 DNI N° 08447308 Telf.: 991568552

Lima, 10 de junio del 2023

## ANEXO 5 CARTA DE AUTORIZACIÓN



“Año de la Unidad, la Paz y el desarrollo”

Lima, 06 de julio de 2023

**CARTA N° 04- 2023/EP-ING.AMB.UCV-LN**

**Señores de:**

**PESQUERA EXALMAL S. A. A.**

**Presente:**

*De mi consideración:*

*La presente es para saludarlos cordialmente y a la vez solicitar; Que el Sr. **Elliot Joule, Guardia Ríos**, identificado con documento de identidad N° 71244274, código N° 6700176728, estudiante del X ciclo de la carrera de Ingeniería Ambiental de la universidad César Vallejo, sede Lima Norte; Quién desarrolla su trabajo de investigación: **“EFECTO DE LA ELECTROCOAGULACIÓN EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DEL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL DE UNA EMPRESA PESQUERA DE LIMA, 2023”**. Bajo el asesoramiento del Dr. Juan Julio Ordoñez Galvez, identificado con documento de identidad N° 08447308.*

*Se solicita el acceso a su planta de producción de sede Callao, con la finalidad de tomar muestras de sus aguas residuales industriales, de manera que pueda desarrollar el proyecto de investigación, para así obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental y contribuir a la sociedad científica y el desarrollo sostenible de nuestra Nación.*

*Hago propicio la ocasión de expresarle las muestras de mi estima consideración.*



Pesquera Exalmar S.A.A.  
Piscicultura  
Ing. Richard Guzmán Cruz  
SUPERVISOR DE GESTIÓN AMBIENTAL



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO  
UCV  
UNIVERSIDAD  
CÉSAR VALLEJO  
ESCUELA PROFESIONAL  
DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL  
LIMA

**Dra. Veronica Tello Mendivil | Jefa  
EP Ingeniería Ambiental**

**ANEXO 7**  
**Panel fotográfico**

