

# TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS EN COLOMBIA MEDIANTE LA ELECTROCOAGULACIÓN

UNIVERSIDAD EAN

**Leidy Natalia Oviedo cuesta** 

Ingeniería Química, estudiante, facultad de ingeniería, Bogotá, Colombia,

[loviedo73852@universidadean.edu.co](mailto:loviedo73852@universidadean.edu.co)

**Valeria Alejandra Medina Satova** 

Ingeniería Química, estudiante, facultad de ingeniería, Bogotá, Colombia,

[vmedina05697@universidadean.edu.co](mailto:vmedina05697@universidadean.edu.co)

**Maicol Stiven Beltran Diaz** 

Ingeniería Química, estudiante, facultad de ingeniería, Bogotá, Colombia,

[mbeltra89001@universidadean.edu.co](mailto:mbeltra89001@universidadean.edu.co)

Docente

**Lina María Chacón Rivera**

**Proyecto de grado**

**Facultad de ingeniería química**

**Bogotá D.C, 2023**

## Tabla de Contenido

RESUMEN EJECUTIVO .....	6
INTRODUCCIÓN .....	6
OBJETIVO GENERAL.....	7
Objetivos Específicos.....	7
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	7
JUSTIFICACIÓN .....	8
ANALISIS DE REQUERIMIENTO .....	9
MARCO DE REFERENCIA .....	11
Parámetros para una electrocoagulación .....	14
Características de las aguas residuales .....	14
Diseño del sistema .....	14
Selección de electrodos .....	14
Condiciones de operación.....	14
Monitoreo y control .....	14
Reacción del proceso electroquímico.....	14
Electrocoagulación .....	15
Variables.....	17
pH .....	17
Conductividad.....	17
Temperatura.....	17
Conexiones de electrodos .....	17
Tiempo de electrolisis;.....	17
Materiales empleados como electrodos .....	18
Forma del electrodo; .....	18
Distancia entre electrodos.....	18
Efecto de la velocidad de agitación .....	18

Medidas analíticas .....	18
ANALISIS DE RESTRICCIONES .....	19
Disponibilidad de energía.....	19
Características de los vertimientos:.....	19
Calidad del agua tratada: .....	19
Mantenimiento: .....	19
Regulaciones ambientales y gubernamentales: .....	20
METODOLOGIA PARA LA SELECCIÓN Y DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN.....	20
Fase I: Selección de la metodología.....	20
Fase II: Desarrollo experimental .....	21
Fase III: Resultados y análisis de datos.....	23
ANALISIS DE COSTOS.....	31
ANALISIS DE IMPACTO AMBIENTAL .....	33
Descripción del método.....	33
Evaluación del impacto ambiental.....	35
Resultados evaluación de impacto.....	36
CONCLUSIONES .....	39
REFERENCIAS.....	41

## **Ilustraciones**

<b>Ilustración 1.</b> Reactor para electrocoagulación tipo batch .....	10
<b>Ilustración 2.</b> Resolución 0631 de 2015 .....	11

## Tablas

<b>Tabla 1</b> .....	26
<b>Tabla 2</b> .....	27
<b>Tabla 3</b> .....	29
<b>Tabla 4</b> .....	30
<b>Tabla 5</b> .....	30
<b>Tabla 6</b> .....	32
<b>Tabla 8</b> .....	34
<b>Tabla 9</b> .....	35
<b>Tabla 10</b> .....	37

## **RESUMEN EJECUTIVO**

Este documento tiene como fin presentar una alternativa innovadora para tratar eficazmente las aguas residuales de las industrias de alimentos en Colombia. La electrocoagulación se propone como un método de depuración de efluentes contaminados que tienen un impacto negativo en la sociedad, la economía y el medio ambiente.

La metodología del proyecto se centra en la eliminación de compuestos contaminantes presentes en las aguas residuales de la industria de alimentos mediante la electrocoagulación. Este método utiliza un proceso electroquímico que desestabiliza los compuestos contaminantes a través de una corriente eléctrica y la incorporación de electrodos metálicos. El objetivo es caracterizar el agua tratada y evaluar la eficiencia del proceso como una alternativa para cumplir con los límites máximos permisibles de contaminantes vertidos en fuentes de agua o sistemas de alcantarillado, según lo establecido en la resolución 0631 de 2015.

## **INTRODUCCIÓN**

Las aguas residuales generadas por la industria alimentaria pueden contener una amplia gama de contaminantes, como sólidos suspendidos (restos de alimentos, fibras, etc.), grasas y aceites, compuestos orgánicos (azúcares, proteínas, almidón, grasas, ácidos orgánicos), compuestos inorgánicos (sales, metales pesados, compuestos ácidos), patógenos (bacterias, virus, parásitos) y productos químicos derivados del uso de detergentes y desinfectantes. Estos contaminantes representan una amenaza tanto para el medio ambiente como para la salud humana si no se gestionan de manera adecuada.

La electrocoagulación se propone como una alternativa innovadora para tratar este tipo de aguas residuales. Se trata de un proceso de tratamiento que utiliza energía eléctrica para coagular y flocular los contaminantes presentes en el agua. Durante el proceso, una corriente eléctrica de baja tensión y alta frecuencia se aplica al agua, lo que induce la formación de burbujas de gas y la precipitación de sólidos suspendidos y disueltos en la corriente. La electrocoagulación se destaca por su eficiencia en la eliminación de componentes químicos orgánicos e inorgánicos, tanto tóxicos como no tóxicos, así como en la eliminación de bacterias y otros microorganismos peligrosos para la salud.

A diferencia de los métodos de tratamiento convencionales, que suelen combinar procesos de coagulación y floculación con el uso de agentes químicos costosos, la electrocoagulación genera los coagulantes in situ mediante la aplicación de corriente eléctrica a los electrodos del reactor. Durante el proceso, los iones metálicos disueltos en el agua, como

el hierro o el aluminio, se oxidan en la superficie del electrodo anódico, lo que conduce a la formación de hidróxidos metálicos y a la creación de flocs.

A medida que la demanda de soluciones sostenibles y eficientes para el tratamiento de aguas residuales continúa creciendo, la electrocoagulación se presenta como una opción atractiva y rentable para lograr una eliminación eficaz de los contaminantes. Además de su capacidad para abordar una amplia variedad de contaminantes presentes en las aguas residuales de la industria alimentaria, la electrocoagulación ofrece ventajas significativas en términos de eficiencia y costos en comparación con los métodos tradicionales basados en agentes químicos.

### **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la eficiencia de la electrocoagulación como método para el tratamiento de aguas residuales que contienen contaminantes específicos de la industria de alimentos en Colombia.

### **Objetivos Específicos**

1. Definir las variables empleadas en el método de electrocoagulación como la corriente eléctrica, la distancia de los electrodos, la calidad de los materiales, el tiempo de tratamiento, con el fin de lograr una mayor eficiencia.
2. Caracterización de los compuestos orgánicos de muestras de agua de la industria de alimentos mediante ensayos de laboratorio y análisis de entes externos acreditados.
3. Comparar los resultados de laboratorio obtenidos de la electrocoagulación de aguas residuales de la industria de alimentos, teniendo en cuenta los límites máximos permitidos en la resolución 631 del 2015 art. 12.

### **DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

El sector de alimentos desempeña un papel fundamental en la economía nacional de Colombia, representando aproximadamente el 22% del PIB de la industria y generando una gran cantidad de empleos (DANE, 2018). Sin embargo, este sector también genera una considerable cantidad de aguas residuales como resultado de sus procesos de limpieza y producción. La composición y el nivel de contaminación de estas aguas residuales varían, y se requiere un tratamiento adecuado antes de su vertido en fuentes de agua superficiales o sistemas de alcantarillado, o incluso su reutilización como aguas de proceso.

La contaminación es generada principalmente por la incorporación de estas sustancias a las redes de desagüe que posteriormente se convierten en aguas residuales las cuales no reciben ningún tipo de tratamiento adecuado debido a que, para poder darse este manejo es necesario una alta inversión que implica costos grandes donde no existe la capacidad de pago,

debido a que su manejo financiero es muy débil o se establecen prioridades que van orientadas a la capitalización dejando a un lado el cuidado y preservación medioambiental.

La industria utiliza agua como materia prima en la limpieza y la producción, que tras su uso se desecha como aguas residuales. Dependiendo de la composición y el nivel de contaminación, las aguas residuales se tratan y reutilizan como aguas de proceso, o se limpian antes de verterlas a las fuentes de aguas superficiales o en el sistema de alcantarillado.

En este contexto, es fundamental buscar soluciones efectivas y viables para el tratamiento de las aguas residuales en la industria alimentaria. Además de la electrocoagulación. Esta alternativa podría ser evaluada en términos de su eficiencia, viabilidad económica y su capacidad para cumplir con los estándares ambientales establecidos.

Abordar esta problemática requiere de la colaboración y participación de diversos actores, incluyendo empresas, instituciones gubernamentales y la sociedad en general. Es necesario promover una mayor conciencia sobre la importancia del tratamiento adecuado de las aguas residuales y fomentar la implementación de proyectos sostenibles que contribuyan a la preservación del medio ambiente y al desarrollo de comunidades más saludables.

## **JUSTIFICACIÓN**

La industria de alimentos es una de las principales fuentes de generación de aguas residuales en Colombia, estas aguas contienen altas concentraciones de materia orgánica, sólidos suspendidos, grasas y aceites que provienen de sus procesos productivos, así como también sustancias químicas como sales y metales pesados, que pueden ser tóxicos y dañinos para el medio ambiente y la salud humana si no se tratan adecuadamente.

En Colombia se realiza tratamiento de aguas residuales con sedimentación primaria donde se realizan los procesos de floculación y coagulación, pero estas técnicas requieren de la participación de sustancias químicas, que contaminan el ambiente, por lo que se requieren técnicas innovadoras, eficientes y amigables con el ambiente para tratar estas aguas residuales.

La electrocoagulación presenta una serie de ventajas en comparación con las técnicas convencionales de tratamiento de aguas residuales, entre ellas se encuentran:

- Bajo consumo de energía eléctrica
- Alta eficiencia de remoción de contaminantes
- No requiere sustancias químicas
- Puede ser aplicada en una amplia variedad de aguas residuales

- Reduce costos en el proceso

Este es una alternativa sostenible y eficiente para el manejo de los efluentes generados en este sector, su implementación contribuiría a la protección del medio ambiente, la salud pública y el desarrollo sostenible del país.

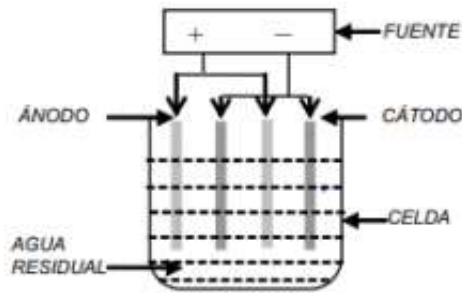
El proyecto contiene un desarrollo de investigación de nivel normativo en el tema de tratamiento de aguas residuales, donde se mencionan metodologías empleadas, límites máximos permitidos, entre otros; profesionalmente el proyecto es de gran crecimiento, ya que permite conocer a fondo las problemáticas existentes y cómo se han manejado en el tiempo, lo cual es importante a la hora de abordar una alternativa innovadora que minimice el impacto de las demás metodologías empleadas y brindar un conocimiento técnico del tema.

### **ANALISIS DE REQUERIMIENTO**

La electrocoagulación tiene como intencionalidad ser una alternativa para el tratamiento de aguas residuales donde por medio de placas electrónicas y una fuente de energía se produce la coagulación, es decir una electro-oxidación de los contaminantes presentes eliminando el uso de químicos para este proceso.

La electrocoagulación se estima como un diseño de una celda electroquímica o reactor de coagulación el cual puede ser diseñado como un reactor batch o un reactor continuo, como se puede observar en la Ilustración 1. Reactor para electrocoagulación tipo batch.

En el diseño del reactor de electrocoagulación se emplean electrodos que están ubicados de forma paralela, esta zona se define como la zona de reacción, debe ser conectada a una fuente de voltaje necesaria para producir la estabilización de partículas, coagulación y sedimentación de los contaminantes presentes en agua a tratar. Los materiales empleados para el electrodo son escogidos de acuerdo con el tipo de agua y contaminantes que se requieren retirar; en este caso compuestos contaminantes presentes en las aguas residuales de las industrias de alimentos, para este tipo de contaminantes son escogidos los electrodos de aluminio y hierro en formas de láminas incorporadas en el reactor con un aislante lo cual permita una distancia para garantizar una mejor remoción.



**Ilustración 1.** Reactor para electrocoagulación tipo batch

Fuente: Arango Ruiz, 2005

Dentro de las especificaciones del producto y su desempeño y teniendo en cuenta la problemática planteada en el ejercicio de electrocoagulación tiene como fin eliminar la mayor cantidad de contaminantes presentes en el agua residual en la industria de alimentos. Así mismo su desempeño y productividad en la celda electroquímica garantizando la remoción de contaminantes se basará en cumplir con los requerimientos y así mismo dando cumplimiento a los límites máximos permitidos en la resolución 631 del 2015 art. 12 los cuales se pueden observar en la ilustración 2: Resolución 0631 de 2015 a continuación.

PARÁMETRO	UNIDADES	ELABORACIÓN DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS	ELABORACIÓN DE ALIMENTOS PREPARADOS PARA ANIMALES	ELABORACIÓN DE MALTAS Y CERVEZAS	ELABORACIÓN DE BEBIDAS NO ALCOHÓLICAS, AGUAS MINERALES Y OTRAS AGUAS EMBOTELLADAS
<b>Generales</b>					
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O <sub>2</sub>	600,00	200,00	200,00	400,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L O <sub>2</sub>	400,00	100,00	100,00	200,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	200,00	50,00	50,00	50,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	2,00	1,00	2,00	2,00
Grasas y Aceites	mg/L	20,00	10,00	10,00	20,00
Compuestos Semivolátiles Fenólicos	mg/L	Análisis y Reporte		Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
<b>Compuestos de Fósforo</b>					
Ortofosfatos (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Fósforo Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
<b>Compuestos de Nitrógeno</b>					
Nitratos (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Nitritos (N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	
Nitrógeno Amónico (N-NH <sub>3</sub> )	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
<b>Iones</b>					
Cianuro Total (CN <sup>-</sup> )	mg/L	0,50	0,20		
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	250,00		250,00	600,00
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	250,00		250,00	500,00
Sulfuros (S <sup>2-</sup> )	mg/L				
<b>Metales y Metaloides</b>					
Cadmio (Cd)	mg/L	0,05	0,05		
Cinc (Zn)	mg/L	3,00	3,00		
Cobre (Cu)	mg/L	1,00	1,00		
Cromo (Cr)	mg/L	0,50	0,50		
Mercurio (Hg)	mg/L	0,01	0,01		
Níquel (Ni)	mg/L	0,50			
Plomo (Pb)	mg/L	0,20	0,20		
<b>Otros Parámetros para Análisis y Reporte</b>					
Acidez Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

PARÁMETRO	UNIDADES	ELABORACIÓN DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS	ELABORACIÓN DE ALIMENTOS PREPARADOS PARA ANIMALES	ELABORACIÓN DE MALTAS Y CERVEZAS	ELABORACIÓN DE BEBIDAS NO ALCOHÓLICAS, AGUAS MINERALES Y OTRAS AGUAS EMBOTELLADAS
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Dureza Cálcica	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436 nm, 525 nm y 620 nm)	m <sup>-1</sup>	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

## Ilustración 2. Resolución 0631 de 2015

*Fuente: Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible*

### MARCO DE REFERENCIA

La industria alimentaria, requiere de una cantidad significativa de agua para llevar a cabo sus procesos productivos que van desde el lavado de equipos, utensilios, infraestructura y materia prima, hasta la elaboración de los productos mismos. Como resultado, esta industria genera uno de los mayores volúmenes de aguas residuales a nivel mundial. Las aguas de la industria alimentaria se encuentran en materias procedentes de arrastres o lavados como la tierra y partículas insolubles, residuos de animales como huesos, pelos, grasas y azúcares, y contienen una carga contaminante importante de fósforo y nitrógeno.

El nivel de contaminante depende directamente del tipo de alimento que se produce, las aguas residuales de la industria de alimentos son las más abundantes; por ejemplo, la industria cárnica es conocida por su alta demanda de agua en diversas etapas del proceso de producción. De manera similar, la industria láctea requiere una cantidad significativa de agua tanto en la producción de leche como en la fabricación de productos derivados. Además, la industria de procesamiento de frutas y verduras, así como la de granos y cereales, también son consumidores importantes de agua en sus respectivos procesos. Estas industrias, debido a la naturaleza intensiva de sus operaciones y la variedad de productos que elaboran, se destacan como generadoras de grandes volúmenes de aguas residuales. El manejo eficiente del agua en estas industrias se ha convertido en una estrategia empresarial crucial para reducir su huella hídrica (Galeano Orozco, P.A. (2020) *Gestión del agua en la industria alimentaria como estrategia empresarial para disminuir la huella hídrica generada en el desarrollo de su actividad*. Universidad de Antioquia) (Galeano Orozco, P.A. (2020) *Gestión del agua en la industria alimentaria como estrategia empresarial para disminuir la huella hídrica generada en el desarrollo de su actividad*. Universidad de Antioquia).

Existen diversos métodos para tratar las aguas residuales, que abarcan lo químico, físico y biológico. Sin embargo, los métodos biológicos suelen ser costosos y se utilizan principalmente en las industrias lácteas, cárnicas y avícolas para descontaminar los residuos que contienen DBO. No obstante, algunas de estas industrias también recurren a métodos químicos y físicos, como el almacenamiento o sedimentación simple, la filtración (simple, doble y múltiple), la floculación, la flotación, el intercambio de iones mediante centrifugación, la ósmosis inversa, la absorción de carbono y la precipitación química (Berkowitz, cap. 67. Sectores basados en recursos biológicos).

La coagulación y la electrocoagulación son procesos utilizados en el tratamiento de aguas residuales para remover partículas suspendidas y materia orgánica. Ambos procesos son efectivos en la eliminación de contaminantes, pero utilizan mecanismos diferentes. La coagulación y floculación es un proceso de sedimentación que requiere de químicos lo que implican la adición de coagulantes y floculantes a la corriente de agua residual. Los coagulantes son sales de metales como el sulfato de aluminio o el cloruro férrico, que se utilizan para neutralizar la carga eléctrica de las partículas suspendidas en el agua. Los floculantes son polímeros que se agregan después de los coagulantes para aglomerar las partículas coaguladas y formar flóculos más grandes y pesados que se asientan en el fondo del tanque de sedimentación. La coagulación y floculación son comúnmente utilizadas en plantas de tratamiento de agua a gran escala, ya que son procesos efectivos para remover partículas y turbiedad.

La electrocoagulación, por otro lado, es un proceso fisicoquímico que utiliza una corriente eléctrica para crear coagulantes in situ a partir de los electrodos de metal en el agua. La aplicación de corriente eléctrica provoca la disolución de los electrodos y la liberación de iones metálicos en el agua. Los iones metálicos reaccionan con las partículas y los contaminantes presentes en el agua, creando flóculos que se adhieren a los electrodos o se sedimentan en el fondo del tanque. La electrocoagulación es una técnica de tratamiento de agua que no utiliza productos químicos añadidos, lo que la hace más sostenible y respetuosa con el medio ambiente que la coagulación convencional

Desde el siglo XIX, en 1888, se efectuó el primer ensayo de electrocoagulación reportado en Londres por Webster, este proceso utilizaba ánodos de hierro soluble, proceso que fue investigado luego en otras localidades de Inglaterra.

Cinco años más tarde, Wolff electrolizó una solución concentrada de sal para producir cloro y soda cáustica que utilizaba para esterilizar aguas negras en Brewster, NY. En 1896 se usó en Louisville, Kentucky, una modificación del proceso de Webster para coagular agua cenagosa del río Ohio, proceso en el que se utilizó ánodos de hierro y aluminio, los cuales fueron efectivos en coagular el agua, pero sin una reducción importante en el oxígeno consumido (Arango Ruiz, Álvaro La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales Revista Lasallista de Investigación, vol. 2, núm. 1, enero-junio, 2005, pp. 49-56 Corporación Universitaria Lasallista)

La electrocoagulación es una alternativa eficiente para eliminar contaminantes en el agua que se encuentran suspendidos, disueltos, esta técnica se emplea en diversas aguas residuales, tales como las de la industria de galvanoplastia, fábricas de envasados, industria del papel, peleterías, molinos de acero, efluentes con contenido de cromo, plomo o mercurio y efluentes con contenido de aceites como los generados por talleres de maquinaria, refinerías, talleres de reparación de autos, transporte, almacenamiento y distribución de aceites, efluentes de la industria alimentaria, lavanderías e industria textil, y finalmente ha sido utilizada en la remoción de los contaminantes de las aguas para consumo humano y residuales domésticas. (Arango Ruiz, Álvaro La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales Revista Lasallista de Investigación, vol. 2, núm. 1, enero-junio, 2005, pp. 49-56 Corporación Universitaria Lasallista)

La técnica se basa en la aplicación de corriente eléctrica en el agua residual utilizando placas metálicas, conocidas como electrodos. Estos electrodos están fabricados con diferentes materiales, como hierro o aluminio, según el tipo de contaminante que se desea eliminar. Al aplicar la corriente eléctrica, se generan reacciones químicas que alteran las formas en que los contaminantes están presentes en el agua, ya sea en suspensión o emulsión. Esto provoca la formación de agregados o flóculos a partir de los contaminantes presentes en el medio acuoso, lo que resulta en la creación de partículas sólidas menos coloidales. Estas partículas, al volverse hidrofóbicas, se precipitan o flotan, lo que facilita su remoción mediante métodos secundarios de separación. (Arango Ruiz, Álvaro La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. Revista Lasallista de Investigación, vol. 2, núm. 1, enero-junio, 2005, pp. 49-56 Corporación Universitaria Lasallista)

En el proceso de electrocoagulación hay generación de coagulantes in situ por la disolución de iones de aluminio o de hierro de los electrodos; la generación de iones metálicos

tiene lugar en el ánodo, por otro lado, en el cátodo hay liberación de burbujas de hidrógeno gaseoso las cuales ayudan a la flotación de las partículas floculadas, las mismas que serán retiradas posteriormente por procesos físicos como la filtración (Johan. Hernández, 2019)

### **Parámetros para una electrocoagulación**

Para poder implementar la electrocoagulación en las aguas residuales de la industria de alimentos, es importante considerar los siguientes parámetros:

*Características de las aguas residuales;* Es importante conocer las características de las aguas residuales de la industria de alimentos, como el pH, la conductividad, la turbidez, la presencia de sólidos suspendidos, la carga orgánica, la presencia de metales pesados, entre otros. Esto permitirá seleccionar los electrodos adecuados y definir las condiciones de operación óptimas para la electrocoagulación.

*Diseño del sistema;* El diseño del sistema de electrocoagulación debe considerar la capacidad de tratamiento que se requiere para remover el contaminante de interés, la geometría de los electrodos, la disposición de los electrodos y el sistema de alimentación eléctrica, entre otros aspectos. Se debe tener en cuenta que el sistema debe ser fácil de operar y mantener.

*Selección de electrodos;* La selección de los electrodos es un factor crítico para el éxito de la electrocoagulación. Los electrodos pueden ser de diferentes materiales, como hierro, aluminio, acero inoxidable, titanio, entre otros. Se deben seleccionar los electrodos adecuados en función de las características de las aguas residuales y el tipo de contaminantes presentes.

*Condiciones de operación;* Las condiciones de operación de la electrocoagulación, como el tiempo de tratamiento, la intensidad de corriente eléctrica, la distancia entre los electrodos, el pH y la temperatura, deben ser cuidadosamente controladas para optimizar la eficiencia del proceso y minimizar los costos.

*Monitoreo y control;* Es importante monitorear y controlar el proceso de electrocoagulación para garantizar la eficiencia del tratamiento y evitar la formación de subproductos no deseados. Se deben medir parámetros como el pH, la conductividad, la turbidez, la carga orgánica y la presencia de metales pesados en las aguas tratadas.

### **Reacción del proceso electroquímico**

Durante la electrólisis, se producen una serie de procesos físicos y químicos que permiten la remoción de los contaminantes presentes en el agua residual. Estos procesos

pueden ser descritos de la siguiente manera, según lo mencionado por Mendoza A. G. y Sánchez A. L. (2019):

En los electrodos, se generan reacciones que liberan iones tanto positivos como negativos. El ánodo proporciona iones metálicos y se conoce como electrodo de sacrificio, ya que la placa metálica que lo constituye se disuelve, mientras que la placa que forma el cátodo permanece sin disolverse.

Los iones generados desempeñan un papel crucial al desestabilizar las cargas de las partículas contaminantes presentes en el agua. Cuando estas cargas se neutralizan, los mecanismos que mantienen las partículas en suspensión desaparecen, lo que permite la formación de agregados de contaminantes y da inicio al proceso de coagulación.

Los iones liberados por los electrodos desencadenan un proceso de eliminación de contaminantes que puede ocurrir a través de dos vías: reacciones químicas y precipitación, así como procesos físicos de agregación de coloides. Dependiendo de su densidad, los agregados pueden flotar o precipitar. Las partículas de contaminantes pueden experimentar varias reacciones importantes, como hidrólisis, electrólisis, reacciones de ionización y formación de radicales libres.

### ***Electrocoagulación***

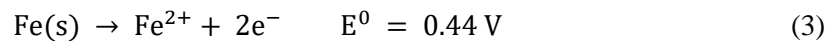
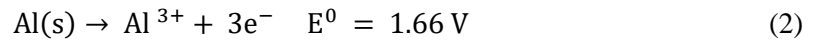
Además de la conductividad, diversos parámetros tecnológicos y condiciones ambientales como el pH, turbidez, temperatura, densidad de corriente, distancia entre electrodos, tiempo de electrólisis y velocidad de agitación desempeñan un papel importante en la EC (Ebba M, Asaithambi P & Alemayehu E., 2022). El fundamento de la EC es la generación in situ de especies coagulantes o compuestos poliméricos mediante la disolución de iones provenientes de las placas usadas como ánodo. Estas especies pueden adsorber materiales orgánicos mediante carga o efectos superficiales, lo que resulta en la agregación y posterior eliminación de los contaminantes principalmente mediante flotación y sedimentación.

Durante el proceso de EC, los iones metálicos se generan en el ánodo, mientras que en el cátodo se liberan burbujas de hidrógeno gaseoso que ayudan a la flotación de las partículas floculadas, las cuales serán removidas posteriormente (E. Aguilar. 2015). La reacción anódica en el proceso de EC se puede resumir mediante la ecuación 1 (J. Nepo, B. Gourich, M. Cha, Y. Stiriba, C. Vial, P. Drogui, J. Naja. 2017).

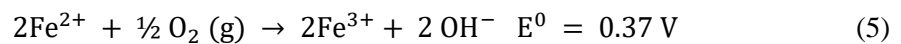
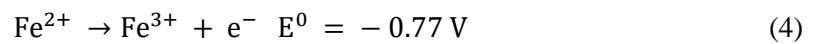


En donde, Z es el número de electrones transferidos en el ánodo en el proceso de disolución por mol de metal (M).

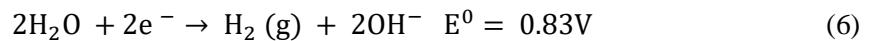
Cuando se utilizan electrodos de hierro y aluminio se presentan las siguientes reacciones principales (V. Kuokkanen, T. Kuokkanen, J. Rämö & U. Lassi. 2013).



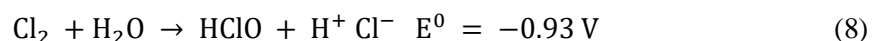
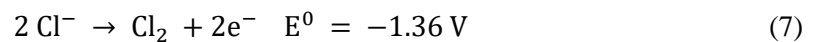
El hierro ferroso se puede oxidar a Fe<sup>3+</sup> por oxígeno atmosférico u oxidación anódica, y se puede considerar como;



Reacciones catódicas:



Uno de los factores que mejora el rendimiento del reactor EC a través de la reacción de oxidación es la formación de especies de cloro activo, esto se da cuando hay presencia de cloruro y el potencial anódico es lo suficientemente alto. Las siguientes reacciones pueden tener lugar en la celda de EC (V. Kuokkanen, T. Kuokkanen, J. Rämö & U. Lassi. 2013).



La electrocoagulación (EC) es una tecnología prometedora para eliminar los compuestos orgánicos presentes en los efluentes industriales generados por la industria de alimentos. Este proceso se destaca por su versatilidad y su capacidad para ser respetuoso con el medio ambiente (Sharma D, Chaudhari P. K, Dubey S & Prajapati A. K., 2020). La EC ha demostrado ser eficaz al retirar contaminantes orgánicos en las aguas residuales de la industria de alimentos. Al utilizar corriente eléctrica y electrodos metálicos, se generan especies coagulantes que facilitan la agregación y posterior remoción de los contaminantes. Esta tecnología no solo logra una alta eficiencia en la eliminación de compuestos orgánicos, sino

que también reduce la necesidad de utilizar productos químicos adicionales, lo que contribuye a su carácter respetuoso con el medio ambiente.

Los principales beneficios del proceso EC incluyen una operación fácil, un equipo simple, menos tiempo de remediación, menos generación de lodos y, posteriormente, la reducción del costo de purificación de lodos (Aref Shokri., 2022).

Se ha demostrado su eficacia en la remoción de contaminantes, pero su implementación exitosa requiere un diseño y control adecuados de los parámetros operativos para optimizar los resultados. Además, es esencial realizar un monitoreo continuo y tomar muestras durante el proceso para evaluar la eficiencia y garantizar el cumplimiento de los estándares de calidad del agua establecidos.

### **Variables**

**pH;** El pH tiene un impacto significativo en la eficiencia de la corriente eléctrica durante el proceso de solubilidad del metal para la formación de hidróxido (Kobyta, 2013). La literatura científica que aborda el tratamiento de efluentes mediante electrocoagulación ha observado que el pH no se mantiene constante, sino que varía al entrar en contacto con los materiales de los electrodos, ya que el agua y los electrodos tienen diferentes valores de pH.

**Conductividad;** La conductividad es un factor fundamental en el proceso de electrocoagulación. Cuando se mantiene un voltaje constante en la celda de electrocoagulación y se incrementa la conductividad, manteniendo la densidad de corriente estable, se observa una reducción en el voltaje aplicado (Bayramoglu, 2013).

**Temperatura;** La temperatura desempeña un papel crucial, ya que determina la capacidad de disolución de los contaminantes presentes en el agua residual. Aunque la influencia de la temperatura en el proceso de electrocoagulación no ha sido ampliamente estudiada, se ha observado que la eficiencia de la corriente aumenta inicialmente hasta alcanzar los 60°C, momento en el cual alcanza su punto máximo antes de disminuir (Restrepo M. P., 2012).

**Conexiones de electrodos;** La selección del material de los electrodos y la configuración de su conexión son aspectos significativos a considerar al evaluar los costos asociados al proceso de electrocoagulación (Chaves J. E, 2021).

**Tiempo de electrolisis;** Diversos métodos requieren un tiempo de retención adecuado para lograr la eficiencia del proceso. En este caso, un período de electrólisis más prolongado

conduce a una mayor formación de flóculos, lo que resulta en una mejora en la eficiencia de eliminación de contaminantes. La reacción comienza a ocurrir en un rango de 5 a 30 minutos. (V. Khandegar, A.K. Saroha. 2013).

***Materiales empleados como electrodos;*** Es crucial elegir los materiales en función del tipo de contaminantes presentes y las características fisicoquímicas y biológicas del agua residual. Se han realizado investigaciones utilizando diversos materiales para la remoción de contaminantes mediante procesos de electrocoagulación. Sin embargo, los metales más estudiados en este contexto han sido el aluminio (Al) y el hierro (Fe). (C. Jiménez, C. Sáez, F. Martínez, P. Cañizares, M.A. Rodrigo. 2012)

***Forma del electrodo;*** La eficacia de eliminación también está influenciada por la geometría del electrodo. En varias investigaciones se ha comprobado que la forma de los electrodos puede afectar la eficiencia en la remoción de contaminantes. Por ejemplo, se ha observado que los electrodos con perforaciones o agujeros demuestran una mayor eficacia de remoción en comparación con los electrodos planos. (Chaves J. E, 2021).

***Distancia entre electrodos;*** La eficacia del proceso también se ve influenciada por la separación entre los electrodos, ya que esto genera una mayor resistencia en la transferencia de masa. Cuando los electrodos están ubicados a una mayor distancia, la cinética de transferencia de carga se ralentiza, lo que resulta en un consumo de energía más elevado y costos más altos. (B. Khaled, B. Wided, H. Béchir, E. Elimame, L. Mouna, T. Zied .2019).

***Efecto de la velocidad de agitación,*** Este procedimiento se lleva a cabo en un reactor con agitación continua, con el objetivo principal de mantener la homogeneidad en el agua residual y prevenir la formación de gradientes de concentración en las celdas de electrólisis. La agitación también promueve una mayor movilidad de los iones generados, acelerando así la formación de flóculos. (Chaves J. E, 2021).

### ***Medidas analíticas***

La medición de cada uno de los parámetros se analizó siguiendo los métodos estándar de análisis de agua y aguas residuales. El Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Métodos estándar para los procedimientos de examen y análisis establecidos en la edición más reciente de "Métodos estándar para el examen de agua y aguas residuales" publicado conjuntamente por la Asociación Estadounidense de Salud Pública, la Asociación

Estadounidense de Obras Hidráulicas y la Federación de Control de la Contaminación del Agua.

El planteamiento principal para dar solución al no cumplimiento de la normatividad ambiental vigente para descargas de aguas residuales industriales generados en la empresa seleccionada como muestra de interés, es primordial realizar una revisión bibliográfica y posterior análisis de las metodologías implementadas para el estudio de la electrocoagulación, con el fin de promover un sistema de tratamiento competente y eficaz. Además de las diferentes ventajas que tiene la implementación de este sistema como lo son: el costo de operación, uso de equipos simples y de fácil operación, así como, la eliminación del uso de coagulante y floculante (químicos), entre otros.

### **ANALISIS DE RESTRICCIONES**

Es importante realizar un análisis de restricciones del proyecto, debido a que esta información nos puede facilitar la toma de decisiones y tener en cuenta diferentes puntos de vista antes de implementar cualquier solución de ingeniería, por lo anterior se deben tener en cuenta las siguientes restricciones:

**Disponibilidad de energía:** El proyecto de electrocoagulación requiere de disponibilidad de energía eléctrica, por lo tanto, la planta de tratamiento debe tener una fuente confiable de energía. completar

**Características de los vertimientos:** Antes de seleccionar el tipo de vertimiento que se requiere analizar, se debe tener en cuenta que tipo de contaminantes contiene, ya que la electrocoagulación funciona de mejor manera en vertimientos que contienen contaminantes orgánicos e inorgánicos como aceites, grasas, metales pesados y microorganismos.

**Calidad del agua tratada:** El resultado de la electrocoagulación del vertimiento debe cumplir con los estándares ambientales y de salud pública para su descarga o disposición, como se indica en la Figura 2: Resolución 0631 de 2015

Para asegurar el cumplimiento de los parámetros, se deben realizar análisis de calidad a nivel laboratorio.

**Mantenimiento:** Se debe tener en cuenta que la electrocoagulación es un proceso que requiere de monitoreo, donde primero se debe realizar análisis de calidad del agua para verificar que se esté realizando de manera correcta el proceso, como segundo punto, se debe realizar una

limpieza a los electrodos, sustituir los materiales desgastados y finalmente realizar la calibración de los equipos de control.

**Regulaciones ambientales y gubernamentales:** En Colombia, la normativa ambiental aplicable al tratamiento de aguas residuales incluye la ley 99 de 1993, que establece el marco general de la política ambiental en el país, adicionalmente, la resolución 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, establece los límites permisibles máximos para la descarga de aguas residuales, como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos totales (SST), pH, aceites y grasas, también establece el procedimiento de seguimiento y monitoreo de las descargas de agua.

Es importante tener en cuenta la resolución 1096 del 2000 que tiene como objeto señalar los requisitos técnicos que deben cumplir los diseños, las obras y procedimientos correspondientes al Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico y sus actividades complementarias. La ejecución de obras relacionadas con el sector de agua potable y saneamiento básico se debe llevar a cabo con sujeción al Plan de Ordenamiento Territorial de cada localidad, en los términos del Capítulo III de la Ley 388 de 1997. Las autoridades locales se encargan de establecer normativas específicas para el tratamiento de aguas residuales en su jurisdicción, por lo que hay que consultar la ley 388 de 1997 para complementar la planificación económica y social con la dimensión territorial, racionalizar las intervenciones sobre el territorio y orientar su desarrollo y aprovechamiento sostenible.

## **METODOLOGIA PARA LA SELECCIÓN Y DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN**

### **Fase I: Selección de la metodología**

La metodología seleccionada se basa en el diseño experimental. Para evaluar la eficiencia y efectividad de la electrocoagulación en la remoción de contaminantes específicos presentes en aguas residuales industriales generadas en la industria de alimentos. Se definen las variables de estudio, como los parámetros de operación (voltaje, tiempo de electrólisis, densidad de corriente), tipo de electrodo, pH y conductividad, y analiza los resultados obtenidos.

Los parámetros que se tienen en cuenta son la concentración inicial de contaminantes y el pH de la muestra hasta la corriente eléctrica, el tiempo de tratamiento, el tipo y tamaño de los electrodos, entre otros. Es importante seleccionar los parámetros que se ajusten al modelo y que sean factibles de medir y controlar experimentalmente.

En un prototipo con 1 litro de muestra, la literatura científica bajo las mismas condiciones de operación y modelo experimental proporciona valores primordiales para desarrollar este proyecto. Un parámetro importante es el voltaje, se recomienda comenzar con un voltaje bajo y luego ajustarlo según sea necesario durante el proceso. Los voltajes típicos utilizados en la electrocoagulación de pequeñas muestras pueden oscilar entre 1 y 10 voltios. Es fundamental tener en cuenta que el voltaje aplicado no debe ser excesivamente alto, ya que podría causar la generación de gases o efectos indeseables en el proceso. Es importante destacar que estos valores son solo una guía general, que posteriormente se van a ajustar en el desarrollo experimental.

En relación al pH, se ha observado que un rango de pH entre 6 y 8 puede ser óptimo para la coagulación y precipitación de contaminantes. Sin embargo, es importante considerar las características específicas de la muestra, ya que algunos pueden requerir un pH diferente para obtener una óptima eliminación. En cuanto a la turbidez y la conductividad, se recomienda medir estos parámetros antes y después del tratamiento para evaluar su eficiencia. Estos valores son solo una referencia inicial y pueden variar según el contexto y las variaciones que pueda tener proyecto en la fase experimental.

## **Fase II: Desarrollo experimental**

Inicialmente se realiza el muestreo de 5 litros de agua residual de una compañía del sector de alimentos en Bogotá, esta muestra es identificada con su respectiva cadena de custodia la cual incluye la fecha, la hora, el lugar, cantidad de la muestra y cualquier otro detalle importante, finalmente es almacenada a 4°C en una nevera lo cual permite la conservación de la naturalidad de la muestra.

Para el desarrollo experimental en laboratorio, se requieren ciertos materiales como una fuente de alimentación de corriente continua, electrodos de hierro y aluminio, un reactor electroquímico, un agitador magnético y una muestra de agua a tratar, entre otros. También se necesitan instrumentos de medición como un pHmetro, conductímetro, termómetro, entre otros.

El procedimiento comienza con la preparación del equipo, asegurándose de que la fuente de alimentación esté en buen estado y los electrodos limpios. Inicialmente, se trabajó con electrodos totalmente planos y lisos de hierro y aluminio, con una altura de 7 cm y un ancho de 5 cm. Sin embargo, consultando la literatura científica, se encontró que la eficiencia del proceso de electrocoagulación mejoraba al utilizar electrodos con agujeros.

Luego, se procede a la preparación de la muestra de un litro de agua, la cual se somete a pruebas fisicoquímicas como se muestra en la tabla 1. Se simula el reactor con un recipiente de vidrio donde y se ingresa la muestra a tratar. Para este experimento, se utilizan electrodos de aluminio y hierro con agujeros, con las mismas dimensiones de altura y ancho mencionadas anteriormente.

Los electrodos se separan con un aislante de poliestireno, manteniendo una distancia de 4 cm entre ellos. Esta separación se selecciona con el objetivo de reducir el tiempo de tratamiento y promover el crecimiento adecuado de los flóculos formados. Según estudios anteriores, se ha recomendado una separación de al menos 1 cm entre los electrodos para obtener resultados óptimos. Además, es importante considerar la circulación del agua contaminada, asegurando una separación de al menos 2 cm entre los electrodos y los laterales del reactor. Siguiendo estas especificaciones, se garantiza una configuración adecuada del equipo y un espacio suficiente para la reacción electroquímica, lo cual contribuye a obtener resultados óptimos en el proceso de electrocoagulación de la muestra de agua.

Después de estas etapas iniciales, se procede a definir el equipo necesario para la generación de corriente. En este caso, se utiliza un voltímetro/amperímetro, el cual permite generar corriente continua variable en función de la conductividad de la muestra. Es importante destacar que el voltaje va variando gradualmente desde valores iniciales hasta alcanzar los valores establecidos para el tratamiento.

En este caso particular, se busca una corriente de 1A y un voltaje de 0,25V para tratar la muestra de un litro. Estos valores específicos se determinaron según investigaciones previas y se consideran adecuados para lograr una coagulación efectiva de los contaminantes del agua residual. Al seguir estas pautas y ajustar el voltaje gradualmente hasta los valores establecidos, se obtiene una aplicación controlada de corriente eléctrica durante el proceso de electrocoagulación, lo cual es esencial para obtener resultados efectivos.

Se procede a conectar la fuente de alimentación a los electrodos, en primer lugar, se verifica que los cables estén conectados correctamente y la polaridad sea adecuada. Para la electrocoagulación, se recomienda utilizar una polaridad directa, donde el electrodo de aluminio se conecta al polo positivo y el electrodo de hierro al polo negativo. Esta configuración favorece la formación de hidróxidos metálicos y la coagulación de las partículas presentes en la muestra de aguas.

Después de verificar las condiciones de conexión, se activa la fuente de alimentación. A medida que la corriente eléctrica comienza a fluir a través de los electrodos, se inicia la formación de burbujas de gas y la coagulación de las partículas en la solución. El tiempo requerido para que aparezcan las primeras burbujas es de aproximadamente 15 minutos.

El tiempo de retención para realizar la electrocoagulación en el reactor se estableció para un periodo de una hora y media, un tiempo suficiente el cual permite que ocurra la reacción de coagulación y sedimentación de los contaminantes presentes en la muestra de agua. Es importante mencionar que en el proceso se debe garantizar una distribución uniforme entre los electrodos y una mezcla efectiva de las partículas y los flóculos formados durante la reacción, para ello se emplea un agitador magnético para mantener una agitación suave y controlada

Tras un tiempo suficiente de tratamiento, se para el proceso y se toman nuevamente los datos fisicoquímicos. El proceso de electrocoagulación a escala laboratorio puede variar según las características del efluente a tratar y de los equipos disponibles. Por lo tanto, es recomendable ajustar el proceso según las necesidades específicas de cada caso.

### **Fase III: Resultados y análisis de datos**

Se establece que para garantizar buenos resultados de análisis en el laboratorio se realizan por medio de métodos normalizados y técnicas robustas para obtener resultados confiables, garantizando todo el aseguramiento de la validez de los resultados y trazabilidad metrológica con los siguientes parámetros y técnicas utilizadas:

pH: Se realizó bajo la técnica potencio métrica del SM 4500-H<sup>+</sup> B Ed.23rd con un pHmetro previamente calibrado cumpliendo con los requisitos establecidos por el método de referencia

Demanda bioquímica de oxígeno: se realizó bajo la técnica del ensayo de DBO a los 5 días, electrodo de membrana como método de referencia SM 5210 B,4500-O G Ed.23rd

Demanda química de oxígeno: Se realizó bajo la técnica de reflujo abierto teniendo en cuenta la referencia SM 5220 B Ed.23rd

Solidos suspendidos totales: Se realizó bajo la técnica gravimétrica con secado 103-105 °C con referencia SM 2540 D Ed.23rd

Solidos Sedimentables: Se realizó bajo la técnica de medición volumétrica con referencia SM 2540 F Ed.23rd

Grasas y aceites: Se realizó bajo la técnica de extracción soxhlet sustancias compatibles con el n-hexano con referencia SM 5520 D Ed.23rd

Compuestos semivolátiles fenólicos: se realizó bajo la técnica de determinación de compuestos por medio de cromatografía de gases detector de ionización de llama (GC/FID) con referencia EPA 8041 A Rev. 1

Sustancias activas al azul de metileno (SAAM): se realizó bajo una técnica colorimétrica por medio de una extracción con cloroformo donde se evidencia la presencia de las sustancias activas al azul de metileno por la referencia SM 5540 C Ed.23rd

Ortofosfatos: Se realizó bajo una técnica colorimétrica para realizar lectura a 690 nm por medio de la referencia SM 4500-P D Ed.23rd

Fosforo total: Se realizó por medio de una técnica de digestión ácido nítrico –sulfúrico y coloración a una longitud de onda 880 nm bajo la referencia SM 4500-P B, E Ed.23rd

Nitratos: Se realizó bajo la técnica de barrido espectrofotométrico ultravioleta con referencia SM 4500-NO<sub>3</sub>- B Ed.23rd

Nitrito: Se realizó bajo la técnica colorimétrica a una longitud de onda 543 nm con la referencia SM 4500-NO<sub>2</sub> B

Nitrógeno Amoniacal: se realiza bajo la técnica preliminar destilación- volumétrica con referencia SM 4500 NH<sub>3</sub>- B, C Ed.23rd

Nitrógeno total: se realiza bajo los lineamientos de un cálculo teniendo en cuenta las especies del nitrógeno como lo es el nitrito, nitrato, nitrógeno Kjeldhal con la referencia de J. Rodier

Cianuro total: Se realizó bajo la técnica de tratamiento preliminar – destilación- colorimétrica con la referencia SM 4500-CN- B, C, E Ed.23rd

Cloruros: Se realizó bajo la técnica argentométrica –volumétrica con la referencia SM 4500-Cl B Ed.23rd

Sulfatos: Se realizó bajo la técnica turbidimétrica formando una precipitación con el cloruro de bario a sulfato de bario con la referencia SM 4500-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> E Ed.23rd

Sulfuros: se realizó bajo la técnica yodométrica – volumétrica formándose sulfuro de zinc con la referencia SM 4500-S<sup>2-</sup>

Metales pesados: Se realizó bajo la técnica de digestión asistida por microondas y espectrometría de absorción atómica llama directa aire-acetileno con referencia SM 3030 K, SM 311 B Ed.23rd

Mercurio total: Se realizó bajo la técnica de espectrometría de absorción atómica – vapor frio con la referencia SM 3112 B Ed.23rd

Acidez total: Se realizó bajo la técnica volumétrica con la referencia SM 2310 B Ed.23rd

Alcalinidad total: Se realizó bajo la técnica volumétrica con la referencia SM 2320 B Ed.23rd

Dureza total: se realizó bajo la técnica volumétrica con EDTA con la referencia SM 2340 C

Dureza cálcica: se realizó bajo la técnica volumétrica con EDTA con la referencia SM 3500-Ca B

Color real a tres longitudes de onda: Se realiza bajo la técnica de filtración-espectrofotometría para identificación de color por intensidad  $m^{-1}$  con la referencia ISO 7887, método B, tercera edición

Se realizó el análisis de la muestra proveniente de la industria de alimentos donde se realizó la caracterización fisicoquímica de los parámetros establecidos en el artículo 12 por la resolución 631 de 2015 expedida por el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible en la cual se establecen los parámetros y los valores máximos permisibles en los vertimientos que se realizan puntuales de agua superficiales, sistemas de alcantarillado público y otras disposiciones, con el fin de garantizar una remoción y cumplimiento de los parámetros que establece el artículo 12 de la resolución 631 del 2015.

**Tabla 1.***Análisis de muestra de agua sin tratar.*

PARAMETRO	UNIDADES	VALOR MAXIMO PERMISIBLE	MUESTRA SIN TRATAR	CUMPLIMIENTO
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	7.62	CUMPLE
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O2	600	750	INCUMPLE
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L O2	400	580	INCUMPLE
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	200	80	CUMPLE
Sólidos Sedimentables (SSED)	ml/L	2	<0.1	CUMPLE
Grasas y Aceites	mg/L	20	38	INCUMPLE
Compuestos Semivolátiles Fenólicos	mg/L	Análisis y Reporte	<0,002	CUMPLE
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y Reporte	2.5	CUMPLE
Ortofosfatos(P-PO43-)	mg/L	Análisis y Reporte	0.58	CUMPLE
Fósforo Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte	0.89	CUMPLE
Nitratos (N-NO3-)	mg/L	Análisis y Reporte	2.5	CUMPLE
Nitritos (N-NO2-)	mg/L	Análisis y Reporte	<0,007	CUMPLE
Nitrógeno Amoniacal (N-NH3)	mg/L	Análisis y Reporte	0.5	CUMPLE
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Análisis y Reporte	3.00	CUMPLE
Cianuro Total (CN-)	mg/L	0.5	<0,02	CUMPLE
Cloruros (Cl-)	mg/L	250	320	INCUMPLE
Sulfatos (SO42- )	mg/L	250	20	CUMPLE
Sulfuros (S2-)	mg/L	Análisis y Reporte	<0,80	CUMPLE
Cadmio (Cd)	mg/L	0.05	<0,003	CUMPLE
Cinc (Zn)	mg/L	3	0.78	CUMPLE
Cobre (Cu)	mg/L	1	<0,05	CUMPLE
Cromo (Cr)	mg/L	0.5	<0,04	CUMPLE
Mercurio (Hg)	mg/L	0.01	<0,001	CUMPLE
Níquel (Ni)	mg/L	0.5	<0,05	CUMPLE
Plomo (Pb)	mg/L	0.20	<0,01	CUMPLE
Acidez Total	mg/L CaCO3	Análisis y Reporte	<6,0	CUMPLE
Alcalinidad Total	mg/L CaCO3	Análisis y Reporte	45	CUMPLE
Dureza Cálctica	mg/L CaCO3	Análisis y Reporte	18	CUMPLE
Dureza Total	mg/L CaCO3	Análisis y Reporte	38	CUMPLE
Color Real (tres longitudes de onda: 436 nm, 525 nm ,620 nm)	m-1	Análisis y Reporte	0,7-0,3-0,1	CUMPLE

Fuente: Autores

Al realizar los análisis de los parámetros establecidos por el artículo 12 de la resolución 631 del 2015 ver tabla 1 (análisis de muestra de agua sin tratar), se evidencia que el pH cumple dentro del rango requerido por lo tanto es una variable a favor ya que al momento de no hacer carga eléctrica muy fuerte este no se vería afectado y se mantendría estable dentro del ejercicio de electrocoagulación

La mayoría de parámetros que se analizaron de la muestra de agua sin tratar tienen un cumplimiento respecto a los valores máximos permisibles del artículo 12 de la resolución 631 sin embargo; se refleja que no dan cumplimiento o parámetros como el caso de color real que su remoción siempre es de gran importancia ya que se demostraría la reducción de materia orgánica y ácidos húmicos presentes en una muestra, como también lo es el nitrato ya que al evidenciar la disminución de este parámetro se reflejaría que no se tendría la misma actividad microbiana presente en la muestra

Se evidencia una carga orgánica muy alta ya que los parámetros como demanda biológica de oxígeno, demanda química de oxígeno y grasas y aceite nos arroja unos resultados más altos en concentración que el valor máximo permisible por el artículo 12 de la resolución

631, se evidencia una alta carga de cloruros lo cual es común la presencia de este analito en la industria de alimentos ya que su actividad diaria es de común uso este ion

Teniendo en cuenta la tabla 1 (análisis de muestra de agua sin tratar) se refleja que la cantidad de sales disueltas son coherentes con la conductividad presente en la muestra que fue de 111  $\mu\text{S}/\text{cm}$  obteniendo entre la suma de dureza total, dureza cálcica y alcalinidad un valor aproximado y similar a la conductividad mencionada ,respecto a materia en suspensión se evidencia una cantidad de solidos suspendidos que es significativa ,aunque está en cumplimiento su reducción también sería de gran propósito para el tratamiento de esta muestra ya que se eliminaría solidos suspensión y su remoción de los parámetros establecidos sería más eficientes

Al ser una muestra de la industria de alimentos se refleja una alta carga de tensoactivos lo cuales no tienen una restricción, pero su disminución aportaría también a remoción de carga orgánica ya que al tener una disminución de tensoactivos seria intrínseca a la disminución de parámetros como lo son el fosforo total y por ende el orto fosfato

**Tabla 2.**

*Análisis de muestra después de tratamiento sin perforaciones.*

PARAMETRO	UNIDADES	VALOR MAXIMO PERMISIBLE	MUESTRA TRATADA	CUMPLIMIENTO
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	7.62	CUMPLE
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O <sub>2</sub>	600	458	CUMPLE
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L O <sub>2</sub>	400	340	CUMPLE
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	200	10	CUMPLE
Sólidos Sedimentables (SSED)	ml/L	2	<0.1	CUMPLE
Grasas y Aceites	mg/L	20	8	CUMPLE
Compuestos Semivolátiles Fenólicos	mg/L	Análisis y Reporte	<0,002	CUMPLE
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y Reporte	1.2	CUMPLE
Ortofosfatos (P-PO43-)	mg/L	Análisis y Reporte	0.2	CUMPLE
Fósforo Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte	0.53	CUMPLE
Nitratos (N-NO3-)	mg/L	Análisis y Reporte	1.3	CUMPLE
Nitritos (N-NO2-)	mg/L	Análisis y Reporte	<0,007	CUMPLE
Nitrógeno Amoniacal (N-NH3)	mg/L	Análisis y Reporte	0.45	CUMPLE
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Análisis y Reporte	1.45	CUMPLE
Cianuro Total (CN-)	mg/L	0.5	<0,02	CUMPLE
Cloruros (Cl-)	mg/L	250	90	CUMPLE
Sulfatos (SO42-)	mg/L	250	15	CUMPLE
Sulfuros (S2-)	mg/L	Análisis y Reporte	<0,80	CUMPLE
Cadmio (Cd)	mg/L	0.05	<0,003	CUMPLE
Cinc (Zn)	mg/L	3	0.5	CUMPLE
Cobre (Cu)	mg/L	1	<0,05	CUMPLE
Cromo (Cr)	mg/L	0.5	<0,04	CUMPLE
Mercurio (Hg)	mg/L	0.01	<0,001	CUMPLE
Níquel (Ni)	mg/L	0.5	<0,05	CUMPLE
Plomo (Pb)	mg/L	0.20	<0,01	CUMPLE
Acidez Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte	<6,0	CUMPLE
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte	65	CUMPLE
Dureza Cálcica	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte	30	CUMPLE
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte	55	CUMPLE
Color Real (tres longitudes de onda: 436 nm, 525 nm, 620 nm)	m-1	Análisis y Reporte	0,1-0,1-0,0	CUMPLE

Fuente: Autores

Se realizó el ejercicio de electrocoagulación con las placas sin perforaciones de la muestra problema de la industria alimentaria y posterior a eso el análisis de los parámetros establecidos por el artículo 12 de la resolución 631 del 2015 con el fin de evaluar la efectividad y la remoción que puede efectuar con este procedimiento

Se evidencio en la tabla 2 (análisis de muestra después de tratamiento sin perforaciones) que los 30 parámetros a evaluar según el artículo 12 de la resolución 631 del 2015, un baja concentración de la carga orgánica como se muestra en la concentración de la demanda biológica y demanda química de oxígeno, al punto de tener concentraciones que cumple con los requisitos de los valores máximos permisibles establecidos, al tener unos resultados de baja concentración en estos analitos mencionados , se evidencia que al momento de ejercer la electrocoagulación hay una remoción de grasas aceites, y una disminución de cloruros lo cual era un ion con alta presencia de concentración en la tabla 1 (análisis de muestra de agua sin tratar), dando como control que este tratamiento aporta a la disminución de analitos que se evidenciaban de alta concentración en la muestra sin tratar

Sin embargo, al revisar los resultados de la tabla 2 (análisis de muestra después de tratamiento sin perforaciones) se refleja la disminución de carga orgánica por ende esta disminución es intrínseca a los analitos como lo es el color real donde a simple vista aparenta un mejor color y se refleja por el análisis arrojando una baja intensidad a las diferentes longitudes de onda, la actividad microbiana también baja su concentración ya que el ion nitrato como nitrógeno baja su concentración reflejando que la actividad microbiana también es afectada potencialmente en este tratamiento, tanto como la remoción casi completa de la materia suspendida la cual es reflejada en los sólidos suspendidos totales contribuyendo a que se presente una baja concentración de las formas presentes de fosforo en la muestra, incluyendo la baja concentración de los surfactante como sustancias activas al azul de metileno (SAAM)

En cuanto las sales disueltas al momento de realizar el tratamiento de la muestra por medio de electrocoagulación se obtiene un resultado de conductividad eléctrica de 142,8  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , lo cual se evidencia en el aumento de concentraciones, pero sin verse afectado el cumplimiento a los valores máximos permisibles del artículo 12 de la resolución 631 del 2015 de la dureza total, dureza cálcica y alcalinidad

**Tabla 3.***Análisis de muestra después de tratamiento con perforaciones.*

PARAMETRO	UNIDADES	VALOR MAXIMO PERMISIBLE	MUESTRA TRATADA	CUMPLIMIENTO
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	7.62	CUMPLE
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O <sub>2</sub>	600	210	CUMPLE
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L O <sub>2</sub>	400	155	CUMPLE
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	200	<5,0	CUMPLE
Sólidos Sedimentables (SSED)	ml/L	2	<0,1	CUMPLE
Grasas y Aceites	mg/L	20	<6,0	CUMPLE
Compuestos Semivolátiles Fenólicos	mg/L	Análisis y Reporte	<0,002	CUMPLE
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y Reporte	0.6	CUMPLE
Ortofosfatos(P-PO43-)	mg/L	Análisis y Reporte	0.12	CUMPLE
Fósforo Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte	0.3	CUMPLE
Nitratos (N-NO <sub>3</sub> -)	mg/L	Análisis y Reporte	0.6	CUMPLE
Nitritos (N-NO <sub>2</sub> -)	mg/L	Análisis y Reporte	<0,007	CUMPLE
Nitrógeno Amoniacal (N-NH <sub>3</sub> )	mg/L	Análisis y Reporte	0.4	CUMPLE
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Análisis y Reporte	1.00	CUMPLE
Cianuro Total (CN-)	mg/L	0.5	<0,02	CUMPLE
Cloruros (Cl-)	mg/L	250	90	CUMPLE
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	250	15	CUMPLE
Sulfuros (S <sup>2-</sup> )	mg/L	Análisis y Reporte	<0,80	CUMPLE
Cadmio (Cd)	mg/L	0.05	<0,003	CUMPLE
Cinc (Zn)	mg/L	3	0.5	CUMPLE
Cobre (Cu)	mg/L	1	<0,05	CUMPLE
Cromo (Cr)	mg/L	0.5	<0,04	CUMPLE
Mercurio (Hg)	mg/L	0.01	<0,001	CUMPLE
Níquel (Ni)	mg/L	0.5	<0,05	CUMPLE
Plomo (Pb)	mg/L	0.20	<0,01	CUMPLE
Acidez Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte	<6,0	CUMPLE
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte	65	CUMPLE
Dureza Cálcica	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte	30	CUMPLE
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte	55	CUMPLE
Color Real (tres longitudes de onda: 436 nm, 525 nm, 620 nm)	m-1	Análisis y Reporte	0,0-0,0-0,0	CUMPLE

Fuente: Autores

En la tabla 3 (análisis de muestra después de tratamiento con perforaciones) se muestran los resultados obtenidos de los parámetros máximos permisibles del artículo 12 de la resolución 631 del 2015 del ejercicio de electrocoagulación con perforaciones en la placas lo cual aumenta la efectividad de remoción, como se muestra en la tabla 2 (análisis de muestra después de tratamiento sin perforaciones) se obtiene como cumplimiento todas las variables analizadas, sin embargo; la muestra tratada con perforaciones en las placas no es la excepción, de hecho se muestra que la efectividad de la remoción de contaminantes que están presentes en la muestra problema de la industria de alimentos es aún mayor ya que los valores comparados a la muestra tratada sin perforación su concentración es más baja dando valores hasta 0 como lo es en el caso de intensidad de color a sus diferentes longitudes de onda que va intrínseco con las bajas concentraciones de la carga orgánica de las demanda biológica y química de oxígeno, así mismo que la poca actividad microbiana que se refleja en el bajo contenido de nitratos presentes, hasta la alta remoción de las variables que no presentan presencia como lo son las grasas y aceites y solidos suspendidos totales

**Tabla 4.**

*Replica de Análisis de muestra después de tratamiento con perforaciones.*

PARAMETRO	UNIDADES	VALOR MAXIMO PERMISIBLE	MUESTRA TRATADA	CUMPLIMIENTO
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	7,62	CUMPLE
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O <sub>2</sub>	600	220	CUMPLE
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L O <sub>2</sub>	400	163	CUMPLE
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	200	<5,0	CUMPLE
Sólidos Sedimentables (SSED)	ml/L	2	<0,1	CUMPLE
Grasas y Aceites	mg/L	20	<6,0	CUMPLE
Compuestos Semivolátiles Fenólicos	mg/L	Análisis y Reporte	<0,002	CUMPLE
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y Reporte	0,54	CUMPLE
Ortofosfatos(P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	Análisis y Reporte	0,14	CUMPLE
Fósforo Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte	0,36	CUMPLE
Nitratos (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Análisis y Reporte	0,65	CUMPLE
Nitritos (N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Análisis y Reporte	<0,007	CUMPLE
Nitrógeno Amoniacal (N-NH <sub>3</sub> )	mg/L	Análisis y Reporte	0,4	CUMPLE
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Análisis y Reporte	1,05	CUMPLE
Cianuro Total (CN <sup>-</sup> )	mg/L	0,5	<0,02	CUMPLE
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	250	84	CUMPLE
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	250	16	CUMPLE
Sulfuros (S <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Análisis y Reporte	<0,80	CUMPLE
Cadmio (Cd)	mg/L	0,05	<0,003	CUMPLE
Cinc (Zn)	mg/L	3	0,45	CUMPLE
Cobre (Cu)	mg/L	1	<0,05	CUMPLE
Cromo (Cr)	mg/L	0,5	<0,04	CUMPLE
Mercurio (Hg)	mg/L	0,01	<0,001	CUMPLE
Níquel (Ni)	mg/L	0,5	<0,05	CUMPLE
Plomo (Pb)	mg/L	0,20	<0,01	CUMPLE
Acidez Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte	<6,0	CUMPLE
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte	68	CUMPLE
Dureza Cálctica	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte	40	CUMPLE
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte	60	CUMPLE
Color Real (tres longitudes de onda: 436 nm, 525 nm , 620 nm)	m-1	Análisis y Reporte	0,0-0,0-0,0	CUMPLE

Fuente: Autores

En la tabla 4 (replica de análisis de muestra después de tratamiento con perforaciones) Se realizo una replica de la muestra tratada con perforaciones con el fin de confirmar tanto la precisión de los analíticos como la alta remoción de los contaminantes presentes para dar cumplimiento a los valores máximos permisibles de los parametros establecidos en el articulo 12 de la resolución 631 de 2015, evidenciando una precisión evaluada por RPD (desviación porcentual relativa) menor al 10% confirmando la gran contribución a la remoción de cargas contaminantes ejercida por la electrocoagulación de la muestra problema con perforaciones en su placas como se refleja en la siguiente tabla

**Tabla 5.**

*Valores de RPD muestra tratada con perforaciones vs replica de muestra tratada con perforaciones*

PARAMETRO	UNIDADES	MUESTRA TRATADA	REPLICA MUESTRA TRATADA	%RPD
pH	Unidades de pH	7,62	7,62	0
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O <sub>2</sub>	210	220	3,28
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L O <sub>2</sub>	155	163	5
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	<5,0	<5,0	0
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	<0,1	<0,1	0
Grasas y Aceites	mg/L	<6,0	<6,0	0
Compuestos Semivolátiles Fenólicos	mg/L	<0,002	<0,002	0
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	0,6	0,54	8,6
Ortofosfatos(P-PO <sub>4</sub> 3-)	mg/L	0,12	0,14	7,3
Fósforo Total (P)	mg/L	0,3	0,36	8,3
Nitratos (N-NO <sub>3</sub> -)	mg/L	0,6	0,65	8
Nitritos (N-NO <sub>2</sub> -)	mg/L	<0,007	<0,007	0
Nitrógeno Amoniacal (N-NH <sub>3</sub> )	mg/L	0,4	0,4	0
Nitrógeno Total (N)	mg/L	1,00	1,05	4,8
Cianuro Total (CN-)	mg/L	<0,02	<0,02	0
Cloruros (Cl-)	mg/L	90	84	6,90
Sulfatos (SO <sub>4</sub> 2- )	mg/L	15	16	6,45
Sulfuros (S <sub>2</sub> -)	mg/L	<0,80	<0,80	0
Cadmio (Cd)	mg/L	<0,003	<0,003	0
Cinc (Zn)	mg/L	0,5	0,45	9,3
Cobre (Cu)	mg/L	<0,05	<0,05	0
Cromo (Cr)	mg/L	<0,04	<0,04	0
Mercurio (Hg)	mg/L	<0,001	<0,001	0
Níquel (Ni)	mg/L	<0,05	<0,05	0
Plomo (Pb)	mg/L	<0,01	<0,01	0
Acidez Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	<6,0	<6,0	0
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	65	68	4,51
Dureza Cálcica	mg/L CaCO <sub>3</sub>	30	40	9,8
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	55	60	8,7
Color Real (tres longitudes de onda: 436 nm, 525 nm , 620 nm)	m-1	0,0-0,0-0,0	0,0-0,0-0,0	0

Fuente: Autores

## ANALISIS DE COSTOS

Se realiza un análisis de costos para el proyecto, donde se contemplan 3 análisis, el primero consiste en evaluar cuál fue la inversión realizada para la ejecución del proyecto, como se puede observar en la tabla 6, allí se tiene en cuenta los insumos y materiales necesarios para realizar el proyecto. Seguido de ello, se realiza el análisis de costos directos de producción, donde se contemplan los equipos, la mano de obra y las actividades directamente relacionadas con la ejecución del proyecto como se puede evidenciar en la tabla 7.

Los costos indirectos de producción de la tabla 8 son los insumos o servicios necesarios para desarrollar y validar la calidad del proyecto, por lo que se consideran los análisis realizados antes y después del tratamiento de la muestra. Para verificar la efectividad del proyecto, se debe tener un punto de referencia en cuanto a datos fisicoquímicos antes del tratamiento.

Finalmente se puede observar en la tabla 9, un balance de costos de todo el proyecto donde la inversión es más baja que los costos directos e indirectos de producción.

**Tabla 6.***Análisis de costos. Inversión realizada.*

<b>INVERSIÓN</b>			
<b>CONCEPTO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
ELECTRODO DE HIERRO	3	\$ 6.000,00	\$ 18.000,00
ELECTRODO DE ALUMINIO	3	\$ 5.500,00	\$ 16.500,00
MATERIAL AISLANTE	3	\$ 5.000,00	\$ 15.000,00
CABLES PINZA CAIMAN (12)	1	\$ 11.800,00	\$ 11.800,00
EMPAQUE	1	\$ 9.000,00	\$ 9.000,00
<b>TOTAL</b>	<b>11</b>	<b>\$ 37.300,00</b>	<b>\$ 70.300,00</b>

Fuente: Autores

**Tabla 7.***Análisis de costos. Costos directos de producción*

<b>COSTOS DIRECTOS DE PRODUCCION</b>			
<b>CONCEPTO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
ALQUILER DE ESPACIO DE LABORATORIO	3	\$ 300.000,00	\$ 900.000,00
ALQUILER DE FUNETE DE ALIMENTACION 30v 10a BK 305D	1	\$ 200.000,00	\$ 200.000,00
pH-metro	1	\$ 150.000,00	\$ 150.000,00
CONDUCTIVIMETRO	1	\$ 200.000,00	\$ 200.000,00
MANO DE OBRA	3	\$ 170.000,00	\$ 510.000,00
<b>TOTAL</b>	<b>9</b>	<b>\$ 1.020.000,00</b>	<b>\$ 1.960.000,00</b>

Fuente: Autores

**Tabla 8.***Análisis de costos. Costos indirectos de producción*

<b>COSTOS INDIRECTOS DE PRODUCCION</b>			
<b>CONCEPTO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
LUZ	1	\$ 100.000,00	\$ 100.000,00
AGUA	1	\$ 38.000,00	\$ 38.000,00

ANALISIS DE LABORATORIO (19)	1	\$ 750.000,00	\$ 750.000,00
ANALISIS FISICOQUIMICOS DE LODOS (7)	1	\$ 20.000,00	\$ 20.000,00
TRATAMIENTO EXTERNO DE LODOS	1	\$ 360.000,00	\$ 360.000,00
TOTAL	5	\$ 1.268.000,00	\$ 1.268.000,00

Fuente: Autores

### Tabla 9.

*Análisis de costos. Balance total del proyecto*

<b>BALANCE TOTAL DEL PROYECTO</b>	
TOTAL, INVERSION	\$ 70.300,00
TOTAL, COSTOS DE PRODUCCION	\$ 1.960.000,00
TOTAL, COSTOS INDIRECTOS DE PRODUCCION	\$ 1.268.000,00
BALANCE TOTAL	\$ 3.298.300,00

Fuente: Autores

## **ANALISIS DE IMPACTO AMBIENTAL**

El análisis del impacto ambiental de la electrocoagulación utilizando la metodología de Conesa es una herramienta efectiva para evaluar los efectos ambientales asociados a esta tecnología de tratamiento de aguas residuales. Este análisis permite identificar y cuantificar los posibles impactos ambientales generados en cada etapa del proceso. Como la evaluación del consumo de energía eléctrica requerida para llevar a cabo la electrocoagulación, así como el uso de materiales y recursos utilizados en la fabricación de los electrodos. Además, de los efectos de la bioacumulación o la generación de lodos.

### **Descripción del método**

Se utiliza el método de evaluación de impacto ambiental desarrollado por Conesa-Fernández para analizar los impactos ambientales de este proyecto. La metodología empleada es de naturaleza cuantitativa y se evalúan diversas características (Díaz M. 2014), incluyendo:

Signo: Esta característica determina si el impacto ambiental es positivo (+) o negativo (-).

La evaluación de impacto ambiental según el método de Conesa-Fernández considera diversas características para determinar la importancia de los impactos generados por un proyecto. Estas características son las siguientes (Díaz M. 2014):

- Intensidad: Se refiere al grado de incidencia de la acción sobre el factor ambiental.
- Extensión: Indica el área de influencia del impacto en relación con el entorno del proyecto.
- Momento: Es el plazo desde la aparición de la acción hasta el comienzo del efecto sobre el medio ambiente.
- Persistencia: Tiempo estimado en el que el efecto perdura antes de que el factor afectado vuelva a sus condiciones iniciales.
- Reversibilidad: Posibilidad de restaurar el factor ambiental afectado por el proyecto.
- Recuperabilidad: Capacidad de reconstruir parcial o totalmente el factor ambiental afectado.
- Sinergia: Considera el refuerzo de efectos cuando se presentan en conjunto.
- Acumulación: Representa el incremento progresivo del efecto cuando la acción generadora persiste de forma continua o repetitiva.
- Efecto: Se refiere a la relación causa-efecto entre la acción y el factor ambiental.
- Periodicidad: Indica la regularidad de la manifestación del efecto, ya sea de forma cíclica o recurrente.

Una vez evaluadas estas características, se determina la importancia del efecto de una acción sobre el factor mediante la siguiente expresión:

$$I = +/- (3I + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)$$

La escala de evaluación de los impactos ambientales se realiza mediante la siguiente valoración.

**Tabla 10.**

*Valoración de la importancia de impacto ambiental.*

<b>Importancia/clasificación</b>	<b>Valoración</b>
Irrelevante	< 25
Moderado	25 – 50
Severo	50 - 75

Nota: adaptado de “diseño e implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales industriales (ptar), para la mitigación del impacto ambiental en la curtiembre la villa, del municipio de Villapinzón, departamento de Cundinamarca”. Fuente: López J & Parra, 2022.

### ***Evaluación del impacto ambiental***

La evaluación de impacto ambiental desempeña un papel fundamental al permitir la identificación de los efectos no deseados asociados a una acción o proyecto. Mediante estudios o declaraciones de impacto ambiental, se analizan detalladamente las acciones que generan impactos significativos en el medio ambiente. Además de esta importante función de identificación, la evaluación ambiental también contribuye de manera decisiva en la toma de decisiones, al proporcionar una guía para definir un curso de acción futuro que permita abordar problemas, satisfacer necesidades y aprovechar oportunidades de manera sostenible.

**Tabla 11.**

*Componentes ambientales evaluados para el sistema de electrocoagulación.*

<b>COMPONENTE AMBIENTAL</b>	<b>IMPACTO AMBIENTAL</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
BIÓTICO	Perdida de fauna	Se pueden generar ruidos, vibraciones y perturbaciones en el entorno. Estas actividades pueden asustar o alejar a la fauna local.
	Perdida de flora	Modificación del terreno, lo que puede resultar en la destrucción o alteración del hábitat natural de las especies de flora. La remoción de vegetación y la excavación del suelo pueden afectar directamente a las plantas y a los organismos que dependen de ellas.
	Alteración del ecosistema	La modificación del equilibrio ecosistémico genera que las especies migren a lugares más seguros, también se presenta la invasión de otras especies carroñeras.
	Deforestación	La construcción de un sistema de tratamiento de aguas por electrocoagulación requiere ocupar gran cantidad de terreno, incentivando la deforestación del área y ocupación o invasión de locales.
ATMOSFÉRICO	Emisión de ruido	Se pueden presentarse ruidos asociados a la operación de bombas, sistemas de agitación o equipos de control y monitoreo.
	Emisión de olores ofensivos	Se presentan olores ofensivos, dada la característica de agua residual a tratar.

	Emisión de gases	Dependiendo de los contaminantes presentes en el agua de entrada, pueden generarse gases durante las reacciones electroquímicas. Por ejemplo, la presencia de compuestos orgánicos puede dar lugar a la generación de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) y metano (CH <sub>4</sub> ), especialmente en condiciones anaeróbicas.
HÍDRICO	Minimización y reducción de contaminación hídrica	Eliminación de contaminantes suspendidos, remoción de contaminantes disueltos, eliminación de microorganismos patógenos, reducción de productos químicos
GEOSFÉRICO	Erosión del suelo	Pérdida de cobertura vegetal, la construcción de la planta de tratamiento puede implicar la eliminación de la vegetación existente en el área.
	Contaminación del suelo	Generación de residuos, existe el riesgo de que estos contaminantes se filtren al suelo o se liberen al entorno circundante.
	Contaminación por lodos	Generación de lodos residuales que contienen metales pesados y otros contaminantes que entran en contacto con el suelo.
	Contaminación por metales pesados	El efluente tratado resultante de la electrocoagulación puede infiltrarse al suelo.
SOCIOECONÓMICO	Implementación de nueva tecnología	Innovación en sistemas de coagulación y floculación, disminución de costos a largo plazo
	Mejora en la calidad de vida	Mejora en la calidad del agua resultará en una mejora significativa en la calidad del agua. Esto puede tener beneficios directos para la salud de la población, reduciendo la propagación de enfermedades transmitidas por el agua y mejorando las condiciones de vida en general.
	Demanda de mantenimiento y supervisión de maquinaria	Generación de empleo. La implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales mediante electrocoagulación puede generar empleo local en diferentes etapas,

Fuente: propia

### ***Resultados evaluación de impacto***

El objetivo principal de esta evaluación es gestionar de manera adecuada las actividades que puedan afectar al medio ambiente y a las comunidades humanas, promoviendo prácticas sostenibles y responsables en el manejo del agua residual generada. Esta evaluación es fundamental para garantizar la protección del entorno natural y contribuir al desarrollo sostenible.

**Tabla 12.***Resultados evaluación de impacto ambiental Matriz Conesa.*

ACTIVIDAD	IMPACTO	NATURALEZA	IMPORTANCIA	IMPACTO
BIOTICO	Perdida de fauna	-	35	MODERADO
	Perdida de flora	-	35	MODERADO
	Alteración del ecosistema	-	33	MODERADO
	Deforestación	-	27	MODERADO
ATMOSFERICO	Emisión de ruido	-	31	MODERADO
	Emisión de olores ofensivos	-	30	MODERADO
	Emisión de gases	-	41	MODERADO
HIDRICO	Minimización y reducción de contaminación hídrica	+	54	SEVERO
GEOSFERICO	Erosión del suelo	-	30	MODERADO
	Contaminación del suelo	-	21	IRRELEVANTE
	Contaminación por lodos	-	22	IRRELEVANTE
	Contaminación por metales pesados	-	19	IRRELEVANTE
SOCIOECONOMICO	Implementación de nueva tecnología	+	48	MODERADO
	Mejora en la calidad de vida	+	38	MODERADO
	Demanda de mantenimiento y supervisión de maquinaria	+	38	MODERADO

Fuente: Autores

De los impactos evaluados se obtiene que:

La pérdida de fauna y flora se considera un impacto moderado, con una importancia de 35 puntos cada uno. Esto indica que la actividad tiene un efecto significativo en la disminución de la biodiversidad local y la pérdida de especies animales y vegetales. La alteración del ecosistema también se considera un impacto moderado, con una importancia de 33 puntos, lo que implica que la actividad tiene el potencial de cambiar las interacciones y dinámicas naturales del ecosistema. En general, estos impactos en el componente biótico resaltan la importancia de implementar medidas de mitigación y prevención para minimizar los efectos negativos en la fauna, flora y los ecosistemas locales.

La emisión de ruido se clasifica como un impacto moderado con una importancia de 31 puntos. Esto indica que la actividad de electrocoagulación genera ciertos niveles de ruido que pueden tener efectos molestos para el entorno y las personas cercanas. Es importante considerar medidas de mitigación, como barreras de insonorización o el uso de tecnologías más silenciosas, para minimizar este impacto.

El análisis de la tabla muestra una evaluación del impacto en el componente hídrico. En este caso, el impacto evaluado es la minimización y reducción de la contaminación hídrica, el cual se clasifica como positivo con una importancia de 54 puntos, lo que indica que tiene un

impacto severo. La electrocoagulación es un proceso eficaz para tratar aguas residuales, especialmente aquellas que contienen compuestos orgánicos y contaminantes suspendidos. A través de este proceso, se utilizan reacciones electroquímicas para eliminar los contaminantes presentes en el agua, como metales pesados, compuestos orgánicos y otros contaminantes.

La electrocoagulación puede lograr una remoción efectiva de contaminantes, lo que contribuye a la mejora de la calidad del agua tratada y reduce el impacto negativo en los cuerpos de agua receptores. Este impacto severo en la minimización y reducción de la contaminación hídrica destaca la importancia de la electrocoagulación como una tecnología prometedora en el tratamiento de aguas residuales. La implementación de este proceso puede ayudar a proteger los recursos hídricos y garantizar un suministro de agua más limpio y seguro para las comunidades y el medio ambiente.

La implementación de nueva tecnología se considera un impacto positivo con una importancia moderada de 48 puntos. Esto indica que la adopción de la electrocoagulación como tecnología de tratamiento de aguas residuales puede tener beneficios socioeconómicos significativos. Al implementar esta nueva tecnología, se pueden lograr mejoras en la eficiencia del proceso de tratamiento, la calidad del agua tratada y la gestión de los recursos hídricos.

La mejora en la calidad de vida también se clasifica como un impacto positivo con una importancia moderada de 38 puntos. La electrocoagulación contribuye a la reducción de la contaminación hídrica, lo que se traduce en un suministro de agua más limpio y seguro para las comunidades. Esto puede tener un impacto directo en la calidad de vida de las personas al proporcionarles acceso a agua potable de mejor calidad y reducir los riesgos para la salud asociados con el consumo de agua contaminada.

En general los impactos ambientales negativos son moderados. La electrocoagulación es un modelo que no requiere de sustancias químicas adicionales para formar los flocs, a diferencia de un sistema de tratamiento convencional. En los tratamientos convencionales de agua, como la coagulación-floculación, se utilizan productos químicos como sales de hierro o aluminio para formar flocs que atrapan los contaminantes presentes en el agua. Estos productos químicos, junto con los contaminantes, forman parte de los lodos generados durante el proceso. Estos lodos suelen ser densos, de naturaleza gelatinosa y contienen una variedad de componentes químicos, incluyendo los coagulantes utilizados.

En cambio, en la electrocoagulación, los lodos generados tienen una composición diferente. Durante el proceso de electrocoagulación, se forman coagulantes naturales, como

hidróxido de hierro o hidróxido de aluminio, a partir de los electrodos mediante la aplicación de una corriente eléctrica. Estos coagulantes se agregan al agua y forman flocs que atrapan los contaminantes. Los lodos resultantes son generalmente menos densos y más compactos que los lodos convencionales. Además, la composición de los lodos de electrocoagulación tiende a ser más simple, con una menor variedad de componentes químicos.

En términos de manejo y disposición de los lodos, tanto los lodos convencionales como los lodos de electrocoagulación requieren una gestión adecuada. Ambos pueden ser sometidos a procesos de deshidratación antes de su disposición final, ya sea mediante métodos como la digestión anaerobia, la incineración, el compostaje u otros métodos de tratamiento de lodos, pero para efectos de este proyecto los lodos serán tratados de forma segura mediante la contratación de un gestor externo quien se encargará de colocar estos residuos en una celda de confinamiento.

## **CONCLUSIONES**

Se concluye que, la eficiencia de la electrocoagulación se ve directamente influenciada por variables como la corriente eléctrica, la calidad de los materiales y el tiempo de retención del fluido en el reactor. La optimización de estas variables es esencial para lograr una mayor eficiencia en el proceso de eliminación de contaminantes mediante electrocoagulación. Durante el desarrollo experimental se determinó que la corriente eléctrica es una de las variables más críticas en la electrocoagulación. Su magnitud y la forma en que se aplica afectan directamente la generación y liberación de especies químicas activas, como los iones metálicos, que desempeñan un papel crucial en la coagulación y precipitación de contaminantes. Una corriente adecuada puede maximizar la producción de iones metálicos y optimizar la eficiencia del proceso.

Otra variable importante a considerar es la calidad de los materiales utilizados en el proceso. Los electrodos son fundamentales, pues son los responsables de la generación de iones metálicos durante la electrolisis. La elección de materiales adecuados, como el aluminio y el hierro, traen ventajas significativas ya que la combinación de ambos electrodos permite aprovechar las propiedades únicas de cada uno de ellos. El electrodo de hierro es eficiente en la generación de iones de hierro, que son altamente efectivos en la coagulación y precipitación de contaminantes, especialmente aquellos cargados negativamente. Por otro lado, el electrodo de aluminio es eficaz en la producción de iones de aluminio, que son más eficientes en la neutralización de cargas positivas y la formación de hidróxidos poliméricos. La combinación

de ambos electrodos garantiza una mayor capacidad de tratamiento para una amplia gama de contaminantes.

Además, la combinación de hierro y aluminio genera un efecto sinérgico que mejora la eficiencia global del proceso. La reacción electroquímica entre los electrodos de hierro y aluminio produce una corriente adicional y genera especies químicas activas adicionales, como radical hidroxilo, que tienen una alta capacidad de oxidación y pueden degradar compuestos orgánicos recalcitrantes o de difícil manejo. Este efecto sinérgico aumenta la eficiencia de la electrocoagulación y la capacidad para eliminar una mayor cantidad de contaminantes.

Es importante destacar las variaciones realizadas en los electrodos durante el desarrollo experimental. Inicialmente, se emplearon láminas planas, obteniendo resultados positivos. Sin embargo, con el objetivo de mejorar la eficiencia del proceso, se planteó un cambio en el diseño de los electrodos. Se decidió realizar agujeros en cada uno de los electrodos, con el propósito de aumentar la superficie de contacto entre ellos y el medio de tratamiento, lo que incrementa la liberación de iones metálicos y especies químicas activas.

En la tabla 3 (análisis de muestra después de tratamiento con perforaciones) se evidencia el cumplimiento de los valores máximos permisibles de los parámetros establecidos en el artículo 12 de la resolución 631 del 2015

A partir de los ensayos de laboratorio y análisis de externos acreditados mediante la resolución 0090 del 2021, se realizó la caracterización de compuestos orgánicos. Los resultados obtenidos permitieron evaluar diversos parámetros fisicoquímicos establecidos por la resolución 631/2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Mediante la aplicación de técnicas específicas, se determinaron los siguientes parámetros: pH, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, grasas y aceites, compuestos semivolátiles fenólicos, sustancias activas al azul de metileno (SAAM), ortofosfatos, fósforo total, nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal, nitrógeno total, cianuro total, cloruros, sulfatos, sulfuros, metales pesados y mercurio total. Asimismo, se evaluaron la acidez total, alcalinidad total, dureza total, dureza cálcica y color real a tres longitudes de onda.

El objetivo principal de este análisis se basó en verificar el cumplimiento de los valores máximos permisibles establecidos en la resolución mencionada. Los cuales brindan información relevante para garantizar la remoción adecuada de los compuestos orgánicos

presentes en las muestras de agua tratada, así como para asegurar el cumplimiento de las normativas ambientales.

## REFERENCIAS

AlJaberi F. Y, Alardhi S. M, Ahmed S. A, Salman A. D, Juzsakova T, Cretescu I, Le P. C, W.Jin Chung, S.Woong Chang, D.Duc Nguyen, (2022). [Can electrocoagulation technology be integrated with wastewater treatment systems to improve treatment efficiency?](https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113890), Environmental Research, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113890>.

Aref Shokri, Mahdi Sanavi Fard, A critical review in electrocoagulation technology applied for oil removal in industrial wastewater, Chemosphere. (2022). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132355>.

Verma, A. K., Dash, R. R., & Bhunia, P. (2012). A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters. Journal of Environmental Management, 93(1), 154-168.

Catalina, S., Aragón, A., Sebastián, J., & Garay, G. (n.d.). Análisis de la electrocoagulación como tecnología eficiente para el tratamiento de aguas residuales de una industria textil. Edu.Co. Retrieved August 29, 2022, from [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1032&context=ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1032&context=ing_ambiental_sanitaria).

Castellanos Niño, J. A., & Quintero Cubillos, A. F. (2019, agosto). desarrollo de una propuesta de sistema de tratamiento de aguas residuales generada en la empresa producción y gestión s.a.s. Fundación Universitaria de América. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7616/1/6132159-2019-2-IQ.pdf>

Changotra R, Rajput H, Guin J.P, Khader S.A, Dhir A, (2020). Techno-economical evaluation of coupling ionizing radiation and biological treatment process for the remediation of real pharmaceutical wastewater, Journal of Cleaner Production, 402. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118544>.

D. Syam Babu and T. S. Anantha Singh and P. V. Nidheesh and M. Suresh Kumar. (2020). Industrial wastewater treatment by electrocoagulation process, Separation Science and Technology. <https://doi.org/10.1080/01496395.2019.1671866>

E. Aguilar, Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2015.

Jhon Edwar Chaves Tenorio. (2021, abril). Tratamiento de aguas residuales de la industria cosmética mediante electrocoagulación. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/81130/1019062013.2021.pdf?sequence=9&isAllowed=y>

J. Nepo, B. Gourich, M. Cha, Y. Stiriba, C. Vial, P. Drogui, J. Naja, Electrocoagulation process in water treatment: A review of electrocoagulation modeling approaches, 404 (2017) 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.10.011>.

Díaz M. J. (2014). Evaluación de Impacto Ambiental. Universidad Politécnica de Cartagena.

Trabajo de grado. (2022). Diseño e implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales industriales (ptar), para la mitigación del impacto ambiental en la curtiembre la villa, del municipio de Villapinzón, departamento de Cundinamarca. Universidad Piloto de Colombia.

<http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/12157/Trabajo%20de%20grado.pdf?sequence=1>

Beltrán-Heredía, J., Torregrosa-Aguilar, J., & Prats, D. (2021). Electrocoagulation technology for industrial wastewater treatment: a comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, 297, 126525.

Rodríguez-Gómez, R., Gutiérrez-Ortiz, J. I., Mora, M., & Ponce de León, C. (2018). Electrocoagulation as a treatment technology for industrial wastewater: A review. *Journal of Environmental Management*, 213, 556-567.

Mouedhen, G., Rejeb, B., Khemakhem, S., & Dhahbi, M. (2020). Electrocoagulation for industrial wastewater treatment: A critical review. *Journal of Water Process Engineering*, 38, 101574.

Verma, A. K., Dash, R. R., & Bhunia, P. (2012). A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters. *Journal of Environmental Management*, 93(1), 154-168.

Bandara, R. M. I., Naidoo, E. B., & Naidu, G. (2019). Electrocoagulation for industrial wastewater treatment: A comprehensive review. *Environmental Technology Reviews*, 8(1), 17-42.

Hasan, S. W., Abdulkareem, A. S., & Ghani, S. A. (2017). A review on the applications of electrocoagulation for wastewater treatment. *Journal of Water Process Engineering*, 18, 39-45.

Yang, W., & Yao, W. (2019). The electrocoagulation process for industrial wastewater treatment: A comprehensive review. *Chemical Engineering Journal*, 358, 1243-1266.

Mishra, R., Mohanty, S., & Ramakrishna, M. (2019). Electrocoagulation for wastewater treatment: A critical review. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(9), 8291-8316.

El-Naas, M. H., & Al-Zuhair, S. (2018). Electrocoagulation in wastewater treatment: Recent advances. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 125, 1-14.

Beltrán-Heredía, J., Torregrosa-Aguilar, J., & Prats, D. (2020). Electrocoagulation for the treatment of industrial wastewater: A review on recent advances. *Journal of Hazardous Materials*, 382, 121056.

Adhoum, N. (2016). Electrocoagulation/electroflotation in wastewater treatment: A review. *Journal of Environmental Management*, 166, 520-538.

Kavitha, S., Palanivelu, K., & Ganapathy, C. (2009). The role of electrocoagulation in the treatment of industrial effluents: A review. *Journal of Environmental Science and Health, Part C*, 27(4), 301-329.

Soares, A., Mota, A. M., Silva, V., & Boaventura, R. A. (2019). Electrocoagulation for industrial wastewater treatment: A versatile technology. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(2).

**Anexo 1.** Cadena de custodia agua residual.

<b>CADENA DE CUSTODIA PARA MUESTRAS DE ANALISIS</b>							
<b>ACTA N°</b>	1	<b>FECHA</b>	27/04/2023				
<b>MUESTRA N°</b>	1	<b>IDENTIFICACION</b>	Muestra de agua residual empresa de alimentos		<b>HORA DEL MUESTREO</b>	16:23	
<b>IDENTIFICACION DEL PUNTO DE MUESTREO</b>	Tanque de agua residual		<b>TIPO DE MUESTRA</b>	Compuesta			
<b>MEDICIONES INSITU</b>	N.A	<b>pH</b>	N.A	<b>Temperatura (°C)</b>	N.A	<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	23
<b>OBSERVACIONES</b>	Los análisis se realizan dentro de las primeras 24 horas por requerimientos técnicos del laboratorio.						
<b>MEDIDAS DE CONSERVACION</b>	<b>N°</b>	<b>TIPO DE RECIPIENTE</b>		<b>TECNICA DE CONSERVACION</b>			
	1	GARRAFA DE 5 KILOS		-MATERIAL DE POLIPROPILENO CON ALTA BARRERA DE OXIGENO. - METODO EXIGIDO SEGÚN EL METODO DE ANALISIS			
<b>RESPONSABLE DEL MUESTREO</b>	Valeria Medina Satova		<b>OBSERVACIONES</b>	N.A			

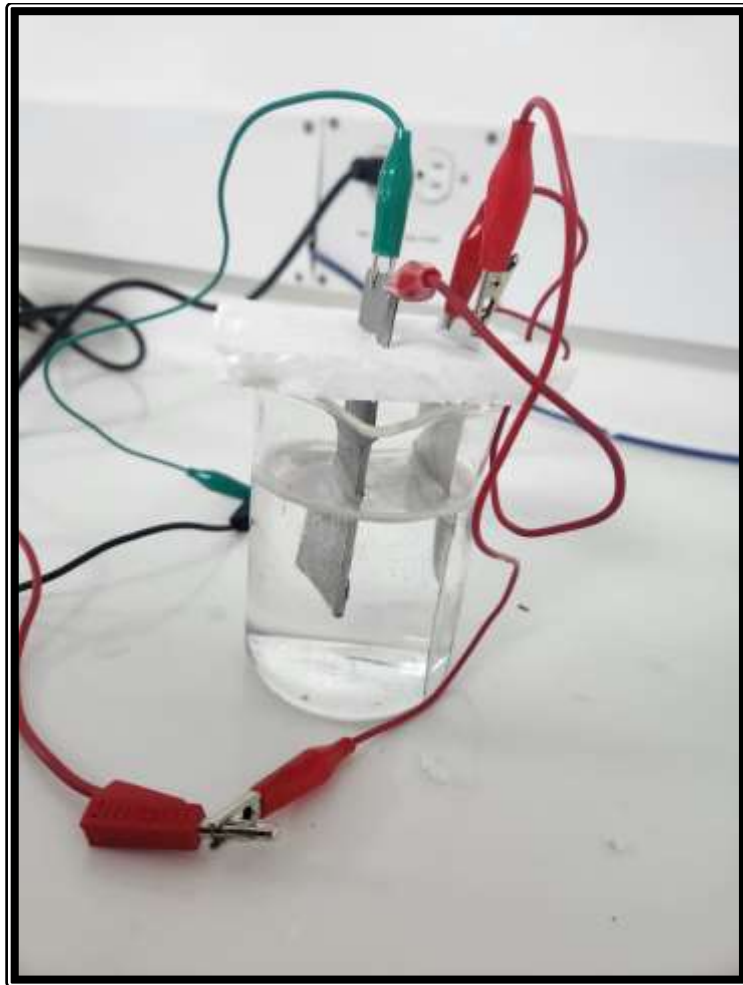
**Anexo 2.** Ilustraciones y montaje del prototipo.



**Anexo 3.** Ilustración de formación de floc



**Anexo 4.** Ilustración de separación de placas



## Anexo 5. Evaluación de impacto ambiental

ACTIVIDAD	IMPACTO	NATURALEZA	INTENSIDAD	EXTENSIÓN	MOMENTO	PERSISTENCIA	REVERSIBILIDAD	SINERGIÁ	ACUMULACION	EFECCIÓN	PERIODICIDAD	RECUPERABILIDAD	IMPORTANCIA	IMPACTO
BIOTICO	Perdida de fauna	-	4	2	4	1	4	2	1	4	1	2	35	MODERADO
	Perdida de flora	-	4	2	4	1	4	2	1	4	1	2	35	MODERADO
	Alteración del ecosistema	-	4	1	4	1	4	2	1	4	1	2	33	MODERADO
ATMOSFERICO	Deforestación	-	2	2	4	1	2	2	1	4	1	2	27	MODERADO
	Emisión de ruido	-	2	1	2	2	4	2	1	4	4	4	31	MODERADO
	Emisión de olores ofensivos	-	2	1	2	2	4	1	1	4	4	4	30	MODERADO
	Emisión de gases	-	4	2	2	2	4	4	1	4	4	4	41	MODERADO
HIDRICO	Mantenimiento y reducción de contaminación hídrica	+	8	1	2	4	4	2	4	4	4	4	54	SEVERO
	Erosión del suelo	-	2	1	2	2	4	4	1	4	1	4	30	MODERADO
GEOSFERICO	Contaminación del suelo	-	2	1	1	1	2	1	1	4	1	2	21	IRRELEVANTE
	Contaminación por lodos	-	2	1	2	2	1	2	1	4	1	1	22	IRRELEVANTE
	Contaminación por metales pesados	-	1	1	2	1	2	2	1	4	1	1	19	IRRELEVANTE
SOCIOECONOMIC	Implementación de nueva tecnología	+	8	1	2	4	4	2	4	1	4	1	48	MODERADO
	Mejora en la calidad de vida	+	4	1	4	4	4	2	4	1	4	1	38	MODERADO
	Demanda de mantenimiento y supervisión de maquinaria	+	4	1	4	4	4	2	4	1	4	1	38	MODERADO