



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“MÉTODO DE ELECTROCOAGULACIÓN COMO ALTERNATIVA  
PARA LA REDUCCIÓN DE NIVELES DE EFLUENTES EN EL  
PERU”

Trabajo de Investigación para optar el grado de:  
BACHILLER EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Presentado por:

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

Asesor:

Mag. Olga Kostenko (0000-0001-8895-8982)

Lima – Perú

2019



**RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N° 236-2020-DACIA-DAFCA-CIENTIFICA**

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES / CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Lima 16 de noviembre de 2020

**VISTO:**

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: **Método de Electrocoagulación como Alternativa para la Reducción de Niveles de Efluentes en el Perú**, presentado por:

- **Katherine Judith Carrera Arutincó**

**CONSIDERANDO:**

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

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

**SE RESUELVE:**

Aprobar e inscribir el trabajo de investigación titulado: **Método de Electrocoagulación como Alternativa para la Reducción de Niveles de Efluentes en el Perú** con N° de registro de la carrera: **077-FCA-IAM**.

Nombrar al docente/colaborador **Olga Vadimovna Kostenko** como asesor de dicho trabajo de investigación.

Regístrese, comuníquese y archívese,

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

## **Método de Electrocoagulación como Alternativa para la Reducción de Niveles de Efluentes en el Perú**

Katherine Judith Carrera Arutinco<sup>1</sup> y Olga Kostenko de Caparo<sup>1\*</sup>

*1 Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Científica del Sur, Lima, Perú*

Autor de correspondencia: [kattycarreraa@gmail.com](mailto:kattycarreraa@gmail.com)

### **Resumen**

La actividad pesquera a nivel mundial y nacional es muy importante, debido a que se genera un gran crecimiento económico en el país; sin embargo, debido a sus actividades se generan residuos sólidos, emisión de olores y gases y efluentes, este último contiene contaminantes como DBO, DQO, SST, aceites y grasas, materia orgánica y nutrientes. Las industrias pesqueras contaminan el ecosistema marino provocando impactos tales como variaciones en las características físicas y químicas del agua, alteración en ciclos aumentando la fertilidad del mar y reversibilidad de los cambios. Debido a las características de los contaminantes es difícil establecer un método adecuado para tratarlos, ya que los contaminantes presentes pueden degradarse en distintos periodos, es así que surgen medidas para mitigar o disminuir los contaminantes de las aguas residuales de las empresas pesqueras, como la aplicación de tratamientos biológicos, físicos y químicos, siendo los tratamientos químicos los más eficientes, debido a los bajos costos y efectividad para la reducción de sus impactos. Uno de los tratamientos químicos más importante es la electrocoagulación, es un método eficiente para remover partículas suspendidas, emulsionadas y disueltas en los efluentes, utiliza placas metálicas paralelas, es decir un cátodo y ánodo de hierro y aluminio para remover contaminantes presentes en los efluentes.

Palabras clave: industrias pesqueras, efluentes, contaminación, electrocoagulación

**Abstract**

The fishing activity worldwide and nationally is very important, because it generates a great economic growth in the country; however, due to its activities, solid waste is generated, emissions of odors and gases and effluents, the latter contains contaminants such as BOD, COD, SST, oils and fats, organic matter and nutrients. Fishing industries pollute the marine ecosystem, causing impacts such as changes in the physical and chemical properties of water, altered cycles, increasing sea fertility and reversibility of changes. Due to the characteristics of the pollutants it is difficult to establish an adequate method to treat them, since the present pollutants can degrade in different periods, this is how measures to mitigate or reduce contaminants from the effluents of the fishing industries arise, such as the application of biological, physical and chemical treatments, being the chemical treatments the most efficient, due to the low costs and effectiveness for the reduction of their impacts. One of the most important chemical treatments is electrocoagulation, it is an efficient method to remove suspended particles, emulsified and dissolved in the effluents, it uses parallel metallic plates, that is to say a cathode and an anode of iron and aluminum to remove contaminants present in the effluents.

Keywords: fishing industries, effluents, pollution, electrocoagulation

## **Revisión Teórica**

En el mundo las masas de agua tales como ríos, lagos, playas, y otras masas de agua son afectadas por aguas residuales procedentes de diferentes industrias, ya sea por procesos o por actividad del hombre (Restrepo *et al.*, 2013). Los tratamientos de efluentes se han aplicado desde hace muchos años, lo cual actualmente causa aceptación y aprobación. En las últimas décadas en América del Sur y Europa, se han empleado diversos métodos para tratar efluentes de las industrias, para reducir la contaminación que provocan al ambiente (Mollah *et al.*, 2001).

### **1. Actividad Pesquera a nivel mundial y nacional.**

En México, la industria pesquera Maz Industrial S.A., desecha sus efluentes hacia la costa denominado Estero de Urías, provocando contaminación y un desequilibrio en las propiedades del mar, estos efluentes presentan grandes cantidades de materia orgánica (proteínas, grasas y aceites), que son arrojados sin previo tratamiento, además representa pérdidas económicas, ya que estas aguas pueden ser recuperadas y volver al sistema de producción. La empresa Maz Industrial, podría recuperar hasta un 98% de materia orgánica presente en las aguas residuales que son desechados y llegan directamente al mar, esto significaría que se estaría perdiendo 283 sacos de harina de pescado. (Arias & Méndez, 2014).

Cada año, se emplean grandes cantidades de pescado (caballa, anchoveta y jurel) para la elaboración de harina y aceite de pescado. Otro país que contamina sus aguas es Chile, tienen un enorme sistema de elaboración de harina y aceite de pescado, de los cuales sus efluentes son vertidos y van directamente al mar los cuales generan toxicidad en las aguas de mar sin un previo tratamiento (Mendiola *et al.*, 2010).

En el Perú, y en el mundo en la década de los 50 y 60, las industrias pesqueras fueron el principal ámbito con un gran desarrollo económico. En 1958, a nivel mundial el Perú se

posicionó en el tercer lugar de elaboración de harina y aceite de pescado, después de Estados Unidos y Japón, y recién en 1959 a nivel mundial, el Perú es uno de los primeros generadores de harina y aceite de pescado (Coronado, 2018). La industria pesquera es uno de los sectores que contamina el ambiente marino, debido a las descargas de sus efluentes (Paredes, 2016). Existen varios casos de problemas ambientales sobre los vertimientos de efluentes de industrias pesqueras en el Perú, en la Bahía de Chancay existen problemas ambientales a gran nivel, donde las condiciones ambientales en el agua son críticas y esto se debe a la actividad industrial pesquera (Cabrera, 2001). Asimismo, la Bahía de Paita concentra una de las principales dificultades ambientales, indicando que las industrias pesqueras son las que generan gran impacto en las aguas costeras, esto se debe a los residuos líquidos que se vierten sin previo tratamiento que provienen de plantas de conservas de pescado, en Paita existen trece industrias pesqueras en funcionamiento (Carranza et al., 2005). La Bahía del Callao, se encuentra localizada en la costa del Perú, al norte del puerto del Callao y limita con la desembocadura de los ríos Rímac y Chillón (Correa *et al.*, 2008). La Bahía del Callao, es fundamental para sectores industriales, turísticos y recreacionales; sin embargo, la problemática que presenta esta área es muy grande, los efluentes producidos por las industrias pesqueras generan un alto impacto negativo al medio marino (Coronado, 2018). Este impacto se debe a la presencia de residuos domésticos, industriales, agrícolas, y sedimentos de minerales (Ancieta, 2014). Algunos estudios indican que las aguas residuales de procesamiento de pescado y camarón son muy altos teniendo demanda biológica de oxígeno (DBO) 500-1550 mg, demanda química de oxígeno (DQO) de 1300-3250 mg, sólidos suspendidos totales (SST) de 17000 mg, grasa de aceite, materia orgánica y nutrientes, etc. Por lo tanto, las aguas residuales de procesamiento de pescado producen efectos negativos al ecosistema (Islam et al., 2004). Las descargas de efluentes originadas por industrias pesqueras y domésticas

llegan de manera directa al mar a través de distintas fuentes (químicas, papeleras, pesqueras), los cuales llevan grandes cantidades de residuos y generan efectos negativos a lo largo de toda la costa de la bahía (Ancieta, 2014).

Los efluentes producidos por las industrias pesqueras son el origen de contaminación de las masas de agua en donde las industrias se han determinado.

## **2. Contaminación de industrias pesqueras.**

La contaminación de las aguas es bastante difícil tratarlas, debido a la diversidad de sustancias o contaminantes que se encuentran en los efluentes, estos contaminantes pueden conservar sus propiedades durante décadas para poder degradarse o degradarse en un periodo corto. Las contaminaciones de las masas de agua provienen de residuos domiciliarios, residuos industriales y sedimentos minerales, que son el resultado de las actividades de las industrias (Guillen *et al.*, 1980).

### ***2.1 Efluentes Industriales***

Los efluentes industriales contienen en gran cantidad materia orgánica (aceites y grasas, escamas de pescado), que generan, en los cuerpos de agua, un cambio en sus características físicas, químicas y biológicas, originando un cambio negativo en el ecosistema marino (OEFA, 2016). Las aguas residuales provenientes de industrias se manifiestan por indicadores como el DBO, turbidez y color (Sánchez *et al.*, 2008). Los contaminantes que se hallan presentes en los efluentes, modifican las características del ambiente marino, estos son disueltos en el mar y provocan una alteración en las características físicas como el color, temperatura y la turbidez. El acrecentamiento de la materia orgánica origina el aumento de especies heterótrofas y el aumento de nutrientes, los cuales provocan el crecimiento de organismos productores (Ancieta, 2014). En Santoña, debido a la elaboración de harina y aceite de pescado, las aguas residuales

generadas representan un 2% del peso inicial de pescado, esto equivale a 600 y 900 TM/Año, lo cual representa un potencial contaminante proveniente de industrias pesqueras (Mendiola et al., 2010).

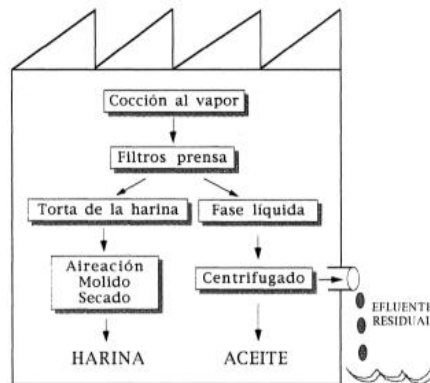


Figura 1. Desarrollo de la elaboración de harina y aceite de pescado

Fuente: Mendiola *et al.*, 2010

a) *Límites Máximos Permisibles para Efluentes de los Establecimientos Industriales Pesqueros de Consumo Humano Directo e Indirecto.*

Diversas organizaciones tales como el Ministerio de la Producción (PRODUCE), la Dirección General de Capitanía y Guardacostas (DICAPI) y la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), son entidades encargadas de inspeccionar la contaminación del mar, otorgar los permisos de las descargas de vertimientos y registrar el funcionamiento de las industrias (Ancieta, 2014). Según el reglamento de procedimientos administrativos para otorgar permisos de descarga y reúso de los efluentes, inicia con un documento de admisión de vertimiento de aguas residuales, el cual es presentado a Mesa de Partes de la Autoridad Nacional del Agua o a la Autoridad Administrativa del Agua (MINAGRI, 2012).

Tabla 1. Medición de Límites Máximos Permisibles para efluentes industriales pesqueros en Perú



<b>Parámetros</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Límite Máximo Permisible</b>
Aceites y grasas	mg/L	350
Sólidos suspendidos totales	mg/L	700
Potencial de hidrogeno	Unidad de pH	5-9

Fuente: MINAM, 2018

*b) Implementación de buenas prácticas y estrategias de gestión ambientales.*

Las industrias en sus procesos de elaboración de harina, aceite de pescado, conservas, deben llevar a cabo buenas prácticas y estrategias de gestión ambiental, con el objetivo de reducir sus impactos ambientales de sus procesos D.S. 010-2008 (Produce, 2009):

- Mejorar la actividad de procesos productivos

Evaluar los procesos que se realizan, ubicando las fuentes de generación de residuos y estableciendo opciones de mejora.

- Racionalizar el uso del agua

Evitar excesos en el consumo, localizando las fugas y pérdidas de agua, realizando monitoreos, recuperación y reúso del agua.

- Reutilizar y reciclar efluentes o emisiones

Reciclar o reutilizar las materias primas en todos los procesos para la elaboración de productos en industrias pesqueras.

- Eliminar o reducir la utilización de sustancias tóxicas

Evaluar la reducción de materiales y sustancias tóxicas por sustancias compatibles con el ambiente.

## ***2.2 Residuos Sólidos***

Las industrias pesqueras generan residuos sólidos en procesos como en la elaboración de fresco; donde se genera residuos de corte y filetes de pescado, residuos de envasado y empaque; otro proceso donde se genera residuos es en la preparación de conservas donde existe grandes cantidades de residuos (cabeza, piel, vísceras, cascaras, caparazones y cola) de fileteado, así como también residuos generados en envasado y empaque de productos. Asimismo, puede estimarse que las industrias generan entre un 55% y 60% de residuos, de materia prima que ingresa a las plantas. Las disposiciones finales de los residuos de industrias pesqueras van a basurales, donde contaminan el suelo y el agua, debido a sus componentes nitrogenados o fosforados, y traen consigo roedores, insectos y gaviotas (Ambrosio, 2004).

### ***a) Elaboración de Plan de Manejo de Residuos Sólidos***

Según lo dispuesto por la Ley General de Residuos sólidos, las industrias pesqueras deben elaborar un Plan de Manejo de Residuos Sólidos, que es un documento técnico y operacional (MINAM, 2016), de sus desechos orgánicos que generan al termino de sus procesos, embalaje, domestico, control de calidad y mantenimiento mecánico de las áreas, con la finalidad de cuidar el entorno y la salubridad de las personas.

## ***2.3 Emisión de olores, gases y partículas***

La emanación de gases, olores y partículas, se hacen presente en los procesos de industrias pesqueras, entre ellos en el procesamiento de fresco, donde se emiten olores de la descomposición de la materia prima ya utilizada, residuos sólidos y procesamiento; otro proceso es la generación de harina de pescado, donde se produce emisiones en la cocción y secado de la elaboración de harina (partículas y gases como CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) y por último, el proceso de elaboración de conservas, donde hay olores fuertes debido a la

descomposición de materia prima, procesamiento, cocción y residuos sólidos (Ambrosio, 2004). Todas las emisiones que se generan son el resultado del proceso de combustión interna que es utilizado para generar energía (OEFA, 2016).

*a) Estándares de Calidad Ambiental del Aire en Perú*

Las emisiones de gases hacia la atmósfera por industrias pesqueras deben ser comparados y controlados con el D.S. N° 003-2017. La industria pesquera los Ferroles S.A., en sus procesos de combustión interna y secado, emite gases y partículas como monóxido de carbono, dióxido de azufre, sulfuro de hidrogeno y dióxido de nitrógeno, obteniendo como resultado  $15000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de CO,  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  SO<sub>2</sub>,  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  H<sub>2</sub>S,  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  NO<sub>2</sub>, superando los Estándares de Calidad Ambiental del Aire y contaminando la calidad del aire (OEFA, 2016).

Tabla 2. Estándares de Calidad Ambiental del Aire

<b>Parámetros</b>	<b>Periodo</b>	<b>Valor (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>Criterios de evaluación</b>	<b>Método de análisis</b>
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM <sub>10</sub> )	24 horas	100	No exceder más de 7 veces al año	Separación inercial/ filtración
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM <sub>2,5</sub> )	24 horas	50	No exceder más de 7 veces al año	Separación inercial/ filtración

Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	de 24 horas	250	No exceder más de 7 veces al año	Fluorescencia ultravioleta
Sulfuro de Hidrogeno (H <sub>2</sub> S)	de 24 horas	150	Media Aritmética	Fluorescencia ultravioleta
Monóxido de Carbono (CO)	de 8 horas	30000	No exceder más de 1 vez al año	Infrarrojo no dispersivo
Dióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	de 1 hora	200	No exceder más de 24 veces al año	Quimioluminiscencia
Ozono (O <sub>3</sub> )	de 8 horas	100	Máxima media diaria no exceder más de 24 veces al año	Fotometría ultravioleta

Fuente: MINAM, 2017

### **3. Impactos Generados por Industrias Pesqueras.**

Las industrias pesqueras pueden generar impactos a las propiedades del ecosistema marino, a la atmosfera y poblaciones aledañas (Paredes, 2016).

#### ***3.1 Alteración en las propiedades físicas y químicas del agua de mar.***

Las alteraciones en las propiedades físicas del ecosistema marino, se deben al incremento de partículas en suspensión, grasas y en algunos casos por efluentes que llegan al mar con temperaturas superiores a 30°C. Por otro lado, las propiedades químicas se ven alteradas por grandes volúmenes de materia orgánica que el ecosistema marino no tiene la capacidad de asimilar, asimismo, se disminuye el oxígeno disuelto y el pH (Paredes, 2016).

### ***3.2 Alteración de ciclos.***

Los efluentes que llegan al mar, contienen gran cantidad de materia orgánica, en el cual al remineralizarse producen “nutrientes inorgánicos” como iones, nitratos, fosfatos y amonio, que aumentan la fertilidad del mar. Uno de los ciclos que se ve alterado por la materia orgánica es el azufre, que se encuentra en el mar como sulfato y que actúa como agente oxidante de la materia orgánica (Paredes, 2016).

### ***3.3 Reversibilidad de los cambios.***

Los efluentes cuando llegan al mar producen cambios, como la acumulación de sedimentos reductores (ácidos húmicos y fúlvicos), los cuales para su recuperación requiere de muchos años (Paredes, 2016).

## **4. Alternativas para mitigar la contaminación de industrias pesqueras.**

Es necesario desarrollar técnicas para mitigar los efluentes de las industrias pesqueras, de las cuales, estas técnicas deben ser adecuadas para lo que se desea mitigar, entre ellos tener una alta eficiencia, costos bajos y poseer ventajas ambientales para controlar la contaminación del recurso hídrico. La aplicación de técnicas pueden ser biológicas y fisicoquímicas (Restrepo *et al.*, 2006).

### ***4.1 Tratamiento Físico.***

#### ***a) Flotación por aire disuelto.***

El método de flotación por aire disuelto (DAF), produce dispersión de burbujas al reducir la tensión de corriente saturada con aire (Forero *et al.*, 1999). El método es una operación unitaria empleada para separar partículas ya sea líquidas o sólidas que se encuentren de baja densidad, las burbujas introducidas se fijan a las partículas y esto genera que las partículas asciendan al nivel, debido a las burbujas de gas. Existen tres métodos para tratar aguas residuales: flotación por presión atmosférica, DAF y flotación por vacío (Méndez

*et al.*, 2008). Tomando en cuenta el punto de vista específico y económico el método por flotación por aire disuelto es una opción para remover sólidos suspendidos totales, grasas y aceites, en tiempos cortos; sin embargo, es un método que necesita una inversión alta (Rojas *et al.*, 2011).

- *Proceso de flotación por aire disuelto.*

Es un proceso con altos porcentajes de separación de sólidos suspendidos totales, aceites y grasas, consta de una celda de presurización, un agitador manual y un filtro de Berea (piedra arsénica), para forzar el aire disuelto; asimismo, presenta una válvula reductora de presión que permite la liberación del líquido-gas tratado (Rojas *et al.*, 2011). En la parte superior se coloca una válvula de bola que permite el paso del efluente hacia dentro del tanque, así como un manómetro de dos pulgadas de diámetro, para medir la presión (Riera & Graterol, 2015). Los porcentajes de remoción son mayores, así como también los costos para implementarlo (Rojas *et al.*, 2011). Estudios realizados en efluentes, aplicar método de flotación por aire disuelto, obteniendo resultados de remoción de 60% de DQO, 86% SST y más del 87% de ST. Se reporta la eficiencia del método en la eliminación de materia orgánica en compuestos aerosoles acuosos. La flotación por aire disuelto está siendo aplicado en diversos sectores como tratamiento de efluentes de industrias metalúrgicas, petroquímicas, farmacéuticas y municipales (Méndez *et al.*, 2008). A continuación, la Figura 2, muestra el sistema de flotación por aire disuelto.

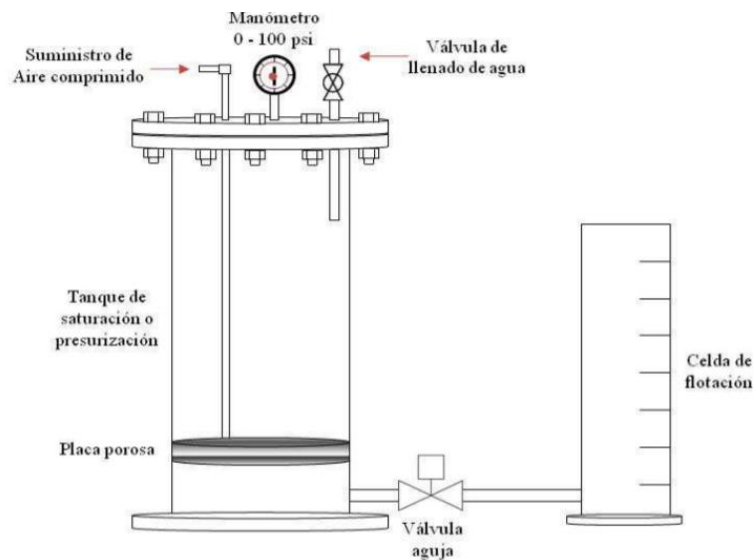


Figura 2. Sistema de Flotación por aire disuelto a escala de laboratorio

Fuente: Riera & Graterol, 2015

*b) Trampas de grasa.*

Son separadores de grasa o desengrasadores, es el método más común en Latinoamérica y Centroamérica, se deben de usar para grandes cantidades de efluentes de aceites y grasas (Chinchilla, 2015).

*- Proceso de trampas de grasa.*

Los aceites, grasas y SST que se encuentran en los efluentes menores a 1 mm, son recuperados a través de trampas de grasa y tanques de flotación, los cuales pueden ser circulares o rectangulares. Este sistema, actúa empujando los efluentes hacia la superficie, donde es atrapado por un baffle. Se puede recuperar hasta un 90% de las grasas, la forma de ingresar el aire al sistema, es a través de la inyección de microburbujas de aire (Produce, 2009). Es un tratamiento primordial, que cumple la responsabilidad de obtener grasas y aceites, deben establecerse lo más cerca posible de los efluentes (Carrera & Florián, 2013). A continuación, se presenta el sistema de trampas de grasa.

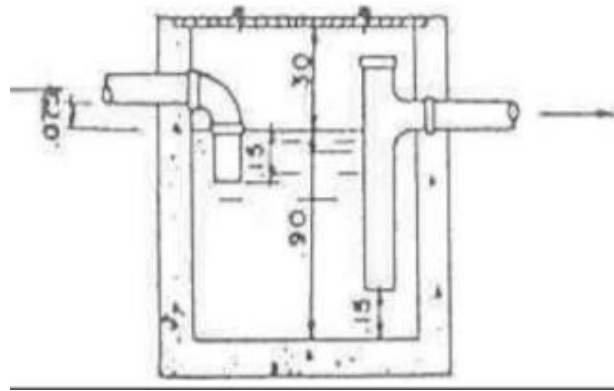


Figura 3. Sistema de trampa de grasa

Fuente: Norma Técnica Peruana, 2012

### c) *Ultrafiltración*

El método de ultrafiltración, consta en la separación física. El volumen del poro que se encuentra en la membrana, establece el punto son separados los sólidos disueltos, turbidez y microorganismos (Ccarita & Soto, 2018).

#### - *Proceso de ultrafiltración.*

Es un método de proceso de aguas residuales, en el cual se aplica membranas, los efluentes son trasladados de varias procesos y canales a un recipiente de equalización, permite la separación del aceite que se encuentra en la superficie del tanque que luego será desnatado y los sólidos más pesados serán bombeados hacia fuera del tanque; otra función que cumple la ultrafiltración es uniformizar las variaciones de flujo y constitución de los residuos y por último, tiene la capacidad de almacenar los residuos por un periodo de dos a doce horas (Batelada & Brady, 2003). Las principales desventajas que presenta el método, es el bajo rendimiento de la membrana causado por efectos del proceso de filtración, el desarrollo de una capa de gel en la membrana, acumulación de suciedad en la membrana (Dudziak *et al.*, 2019). Consiste en impulsar los efluentes a través de bombas



eléctricas y atravesar las membranas semipermeables con luz de paso entre 0.1 y 0.01 micras (Ccarita & Soto, 2018). A continuación, se muestra el sistema de ultrafiltración.

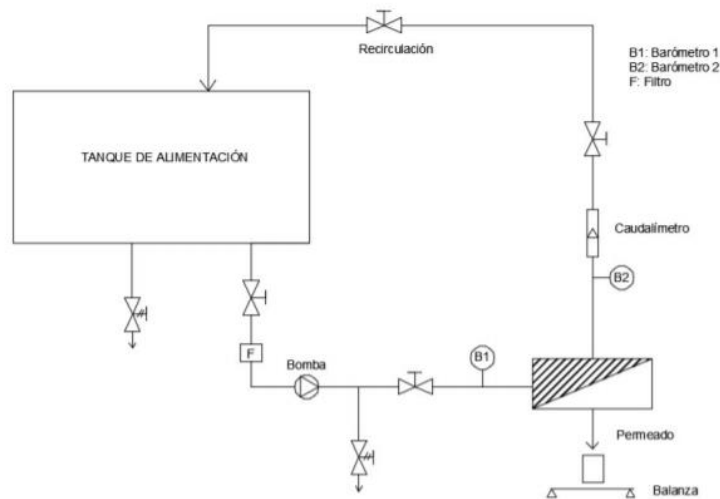


Figura 4. Sistema de Ultrafiltración

Fuente: Domingo, 2018

#### **4.2 Tratamiento Biológico.**

##### *a) Reactor anaeróbico discontinuo.*

El reactor anaeróbico discontinuo, es una tecnología que reduce los impactos ambientales que generan los efluentes. Esta tecnología aprovecha el inconstante metabolismo de los microorganismos para la oxidación de la materia viva, es decir, los contaminantes orgánicos presentes en el mar son convertidos en lodo biológico y biogás. En Ecuador, la ciudad de Manta la industria procesadora de pescado, aplicó la tecnología ya mencionada, donde se monitorearon parámetros (pH, alcalinidad total, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), amonio, nitrógeno total (NT), nitrito, ortofosfato, sólidos suspendidos totales (SST), sulfato y sólidos suspendidos volátiles (SSV)). Los resultados obtenidos de la remoción de materia orgánica fueron manifestados como, DBO donde se redujo en 4.1%; 7.6% y 3.2% y DQO en 9.7%; 9.2%

y 4.1%, dichos valores obtenidos fueron bajos como consecuencia del método inoculo usado, y la presencia del contenido de sales en las aguas residuales de las industrias. Por ello, antes de ingresar el efluente directo al reactor, este requiere de un pre tratamiento para la disminución de la materia orgánica y nutrientes y que obedezcan con los límites permisibles de descarga establecidos en Ecuador (Marín *et al.*, 2015).

- *Proceso de reactores anaeróbicos discontinuo.*

Está compuesto por cuatro reactores que estarán en matraces de aproximadamente de un litro, estos deben contener 20% de lodo biológico anaeróbico y 80% de aguas residuales a tratar, el lodo fue adaptado con efluentes durante dos semanas antes de iniciar el método. Todos estuvieron cerrados herméticamente y se realizaron de manera discontinua, en un tiempo de retención de 24 horas (Marín *et al.*, 2015).

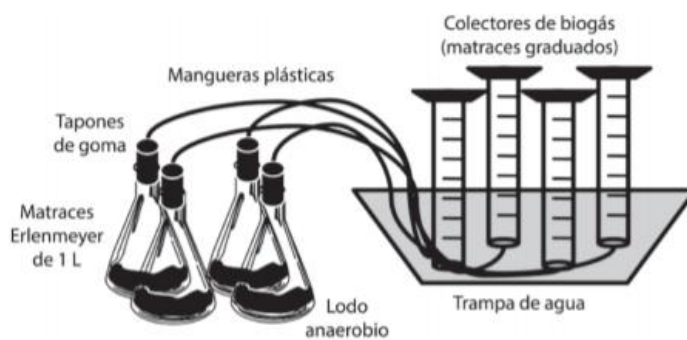


Figura 5. Sistema de Reactores anaeróbicos discontinuo

Fuente: Marín *et al.*, 2015

b) *Reactores aerobios.*

Los reactores aerobios se basan en el uso de microorganismos, bacterias heterótrofas facultativas, para eliminar contaminantes presentes en los efluentes. Los

microorganismos pueden crecer en aguas residuales y pueden agruparse formando flóculos y una masa activa denominada “lodo activo” (López *et al.*, 2016).

- *Proceso de reactores aerobios.*

El proceso consta de un tanque de aireación, en el cual los microorganismos se mantienen en suspensión; de un sistema de separación de sólidos y de un sistema de recirculación para la biomasa sedimentada (López *et al.*, 2016). Son usados para el tratamiento de efluentes de baja y alta carga orgánica, consta en la actividad de las bacterias que degenera materia orgánica, generando lodo biológico, tiene una capacidad de 800 litros, el tiempo de retención es teórico. Se realizó un estudio, donde el diseño del reactor aerobio fue de 33.33 litro/hora, el tiempo de retención fue de 24 horas, en el reactor se disolvió un mililitro de rodamina (posee un carácter inerte, es decir no reacciona con diferentes componentes), en 20 mililitro de agua, luego fue introducido en la entrada, se procedió a evaluar las muestras en un fluorímetro. El meto del reactor aerobio se comporta como un reactor mezclado (Sánchez & Cardona, 2009). En la Figura 6, se muestra el reactor aerobio para disminuir la materia orgánica en aguas residuales domésticas.

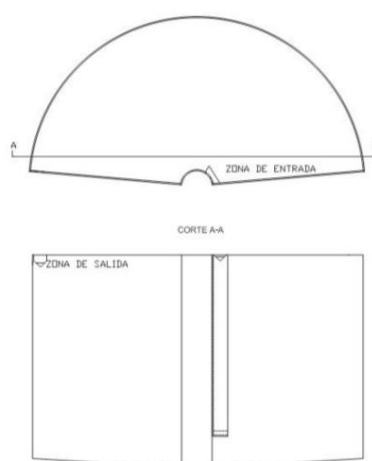


Figura 6. Método del reactor aerobio

Fuente: Sánchez & Cardona, 2009

### 4.3 Tratamiento químico.

#### a) Electroflotación.

Es un método que tiene un rol importante para el procedimiento de efluentes de las empresas, ya que combina oxidación electrolítica y precipitaciones fisicoquímicas. Además, no produce lodos residuales y comprende tres fases, en la primera fase, hay generación de burbujas de gas que se encuentran suspendidas, en la segunda fase, hay una adsorción de pequeñas burbujas de gas en la superficie de partículas electrolíticas y para una tercera fase, existe un aumento de partículas. Estas fases favorecen a la agregación y separación de partículas en efluentes (Melchior *et al.*, 2016). Esto se aplicó en aguas residuales aceitosas, donde se obtuvo la eliminación de 85% de DQO a un voltaje de 15V (Genc & Goc, 2018). A continuación, la Figura 7 muestra el proceso de electroflotación:

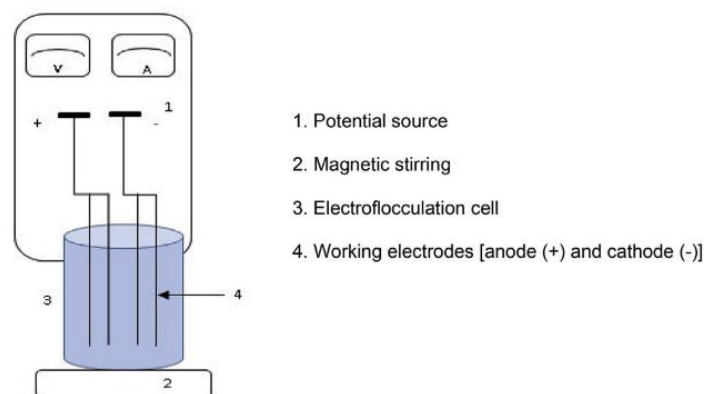


Figura 7. Método de electroflotación

Fuente: Melchior *et al.*, 2016

#### b) Electrooxidación.

Los Procesos Avanzados de Oxidación, son materia de estudio durante los últimos años, como métodos alternativos para el tratamiento de efluentes que contienen diversos contaminantes. Entre ellos, la electrooxidación, es un método que es eficiente para tratar

aguas residuales (GilPavas *et al.*, 2016). Es una técnica que se aplica como post tratamiento, del uso de métodos de coagulación (Dávila *et al.*, 2009).

- *Proceso de electrooxidación.*

Es uno de los procesos de electrocoagulación monopolar para el tratamiento de efluentes, utiliza dos electrodos puestos en forma vertical. Se aplicó en aguas residuales gaseosas, donde se utilizan ánodo-cátodo y densidades de corriente de 17, 51 y 68 mA cm<sup>-2</sup>. Los resultados fueron que el 37.67% de la demanda química de oxígeno (DQO) y el 27% del carbono orgánico total (COT) se eliminaron a los veinte minutos con un pH óptimo de 8, esta baja eficiencia puede asociarse con la alta concentración de iones inorgánicos que inhiben la oxidación de materia orgánica, debido a su complicación con iones de cobre. El consumo de energía eléctrica para degradar un kilogramo de un contaminante en el agua residual de un refresco usando electrooxidación fue de 3.19 kWh de carbono orgánico total y 6.66 kWh de demanda química de oxígeno. Se concluyó que el sistema de electrooxidación es competente para el tratamiento de aguas residuales, ya que disminuye los costos operativos y el tiempo, proporcionando su reutilización en contacto con los seres humanos (Barrera *et al.*, 2017). A continuación, la Figura 8, muestra el sistema de electrooxidación.

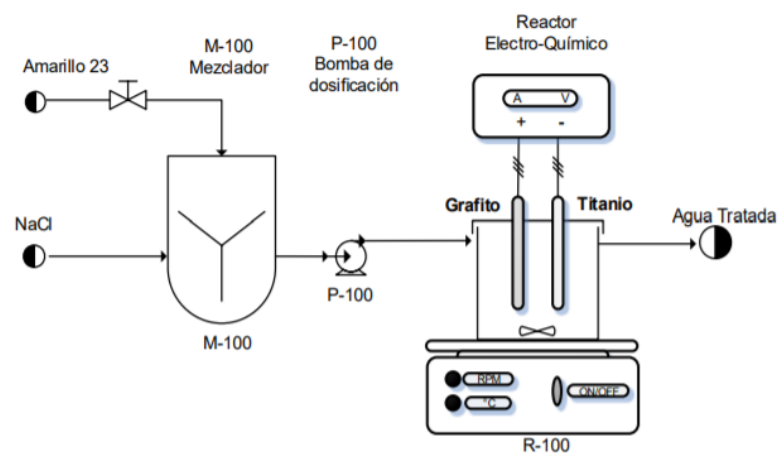


Figura 8: Sistema de electrooxidación

Fuente: GilPavas *et al.*, 2016

*c) Electrocoagulación.*

*- Desarrollo de la electrocoagulación.*

La electroquímica es una técnica que se origina a finales del siglo dieciocho con proyectos de Galvani y Volta. La electrocoagulación ha sido una tecnología que surgió en el año de 1906 en Estados Unidos. El primer ensayo, se realizó en el siglo diecinueve en Inglaterra por Webster. Utilizó ánodos de hierro soluble con una corriente de 0.6 Amp/pie<sup>2</sup> y con un potencial de 1.8 vatios. En 1947 en la Unión Europea, se utilizaron electrodos de hierro para generar hidróxido ferroso, alcanzando una remoción de 70% y 80% de demanda bioquímica de oxígeno. En 1958, la Universidad de Nápoles utiliza el sistema de electrocoagulación para desinfectar aguas negras costeras, donde se mezcló 25% al 30% de agua de mar, para la remoción de fosfato. En las últimas dos décadas, diversos trabajos aplican el método de electrocoagulación para eliminar moléculas de aceite, grasa y petróleo (Restrepo *et al.*, 2006).

Este método es un procedimiento utilizado para el tratamiento de efluentes, es un proceso encargado de eliminar partículas suspendidas, emulsionadas o disueltas en un ambiente acuoso contaminado (Restrepo *et al.*, 2006) y que aplica los principios de coagulación-floculación (Morante, 2002).

*- Proceso de electrocoagulación.*

El proceso de electrocoagulación es una técnica para eliminar distintos tipos de contaminantes de efluentes, es un método de bajo costo y además es conciliable con el medio ambiente (Graca *et al.*, 2018) los contaminantes, se encuentran disueltos,

suspendidos en medio acuoso. En su forma más simple, un reactor de electrocoagulación, puede estar formado por un electrolítico, o también formados por celdas donde se aplica ánodos y cátodos, los cuales se conectan a una fuente de alimentación (Mollah *et al.*, 2001).

Los electrodos generan reacciones y proporcionan iones positivos y negativos, por otro lado, en los electrodos se dan reacciones que generan iones positivos y negativos, el ánodo, que es parte del sistema del electrocoagulador, suministra iones metálicos, a este se le llama como el electrodo de sacrificio, porque la placa metálica se disgrega y mientras que la placa que es el cátodo, permanece sin disgregarse. Los iones que suministran los electrodos realizan un proceso de remoción de contaminantes que se pueden dar por dos formas: la primera forma por reacciones químicas y precipitación, para una segunda forma por procesos físicos de agregación de coloides, que pueden flotar o precipitar de acuerdo a su densidad (Restrepo *et al.*, 2006). En la Figura 9 se muestra el proceso de electrocoagulación.

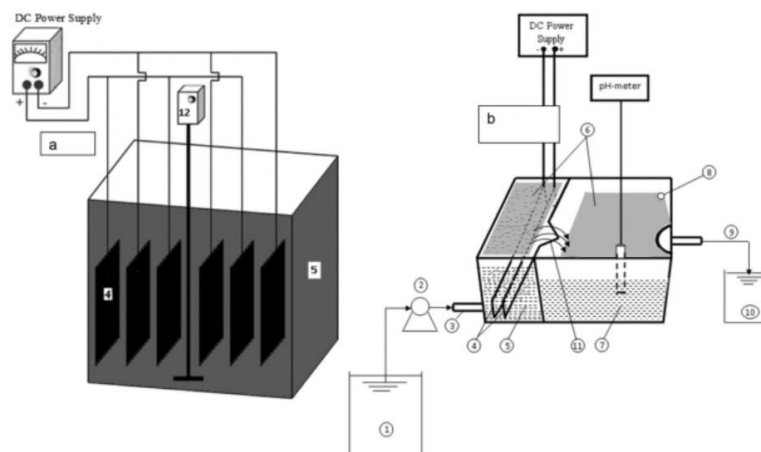


Figura 9. Proceso de Electrocoagulación

Fuente: (Hakizimana *et al.*, 2017)

*Tipos de reacción involucrados en el proceso*

El mecanismo de eliminación de iones se explica con dos ejemplos específicos que incluyen aluminio y hierro, ya que estos dos metales se han utilizado ampliamente para clarificar los efluentes (Mollah *et al.*, 2001). Los electrodos de aluminio y hierro utilizados en el método de electrocoagulación liberan iones de  $Al^{+3}$  o  $Fe^{+2}$  que actúan como coagulantes para la floculación de partículas coloidales (Aguilar, 2015).

*Factores que intervienen en el proceso de electrocoagulación*

Los factores a intervenir en el proceso son: densidad de corriente, tiempo de reacción, configuración del reactor, distancia entre electrodos, tipo de electrodos, temperatura y pH (Apaza, 2018). La Figura 2, muestra los procesos implicados en el reactor de electrocoagulación.

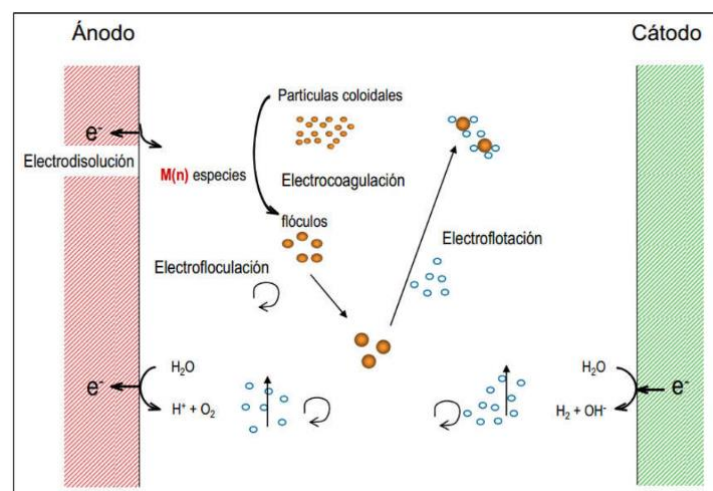


Figura 10. Procesos implicados en el reactor de electrocoagulación.

Fuente: Cañizares *et al.*, 2005, citado por Apaza, 2018.

- *Densidad de corriente*

Influye directamente a la efectividad del proceso en la remoción de los contaminantes. La corriente eléctrica suministrado al reactor de electrocoagulación, determinara la cantidad de iones liberado por los electrodos de aluminio  $Al^{+3}$  o hierro  $Fe^{+2}$ . La eficacia en la



eliminación de contaminantes y el gasto de energía se incrementan con la elevación de densidad de corriente; sin embargo, también existe un incremento en costos de operación, por el cual se debe tener en consideración los parámetros de temperatura y pH (Apaza, 2018).

- *Temperatura*

La temperatura inicialmente a 60°C, esto se debe a la eficiencia de la corriente. El incremento de la temperatura, es debido a la eliminación del óxido de aluminio de la parte superior del electrodo (Restrepo *et al.*, 2006).

- *pH*

El pH es uno de los factores más importantes para la eficiencia del sistema de electrocoagulación, ya que actúa en la densidad de corriente en el desarrollo de solubilidad del metal para generar hidróxido (Apaza, 2018).

- *Conductividad*

Cuando existe un incremento de la conductividad se origina un acrecentamiento en la densidad de corriente. Cuando permanece constante el voltaje del sistema de electrocoagulación y a esto un aumento de la conductividad, se produce un decrecimiento del voltaje empleado (Chen, G.

2004; Bayramoglu *et al.*, 2004; citado por Restrepo *et al.*, 2006).

- *Reactor para la electrocoagulación*

Se realiza en una operación batch, es decir en un sistema continuo, formada por celdas electroquímicas de aluminio y hierro que se encuentran de forma paralela en todo el batch, conectadas a una fuente de poder que le suministra corriente eléctrica (Arango, 2005). El reactor Batch debe ser acorde con el volumen de agua residual que se va a tratar (Aguilar, 2015).

El volumen de la celda ocupada por electrodos será la zona de reacción, donde se llevará a cabo procesos de estabilización de partículas, coagulación y sedimentación. Acabado el proceso de electrocoagulación, se generan lodos en la superficie, esto se debe a que la densidad es baja (Aguilar, 2005).

- *Ventajas y Desventajas del método de electrocoagulación*

El método de electrocoagulación ofrece diversas ventajas con respecto a otros métodos al ser aplicado a aguas residuales (Mollah *et al.*, 2001):

- Se requiere de un equipo simple y fácil de operar.
- Las aguas residuales tratadas presentan características fáciles de identificar como: agua clara, incolora e inodora.
- Los lodos formados en la parte superior tienden a ser configurables y fáciles de eliminar, ya que están compuestos por óxidos e hidróxidos metálicos.
- Tiende a presentar efluentes con menos contenido de sólidos suspendidos totales y elimina partículas coloidales pequeñas.
- Se elude el uso de productos químicos, que evita una contaminación secundaria.

Así como, el método de electrocoagulación presenta diversas ventajas, también puede presentar algunas desventajas, de los cuales pueden ser (Mollah *et al.*, 2001):

- Debido al funcionamiento continuo de los electrodos estos pueden dañarse, y se tendrían que reponer denominándolos como “electrodos de sacrificio”.
- El uso de electricidad es costoso.
- Los lodos formados en la parte superior están compuestos por hierro y aluminio

Se realizó un estudio sobre la situación actual de la provincia constitucional del Callao, el cual indica que se encuentra impactado por un alto porcentaje de emisores (anoxia, altas concentraciones de sulfuros, grasas y aceites, SST, coliformes totales y fecales),

teniendo como área crítica la Bahía del Callao. Otro caso, es la Empresa Ferroles S.A. que está contaminando el agua de mar, ya que sus efluentes no cuentan con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, llegando y contaminando directamente el ecosistema marino, asimismo los gases emitidos diariamente, por sus procesos para la elaboración de productos (enlatado, aceite y harina), llegan a la atmósfera provocando contaminación atmosférica. La Empresa Quimpsac S.A., tiene denuncias por presunta contaminación ambiental, debido a la descarga de soda cáustica que fue generada durante las actividades de instalación de tuberías hacia el mar, produciendo un desequilibrio ecológico en el ecosistema marino (OEFA, 2016).

En la actualidad, hay varios métodos para aplicar a los efluentes, los métodos a aplicar pueden ser métodos físicos, biológicos y químicos (Romero & Rodríguez, 2014). La electrocoagulación es un método en que se emplea los principios de coagulación y floculación en reactores electrolíticos. Diversas empresas alrededor del mundo aplican el método de electrocoagulación, la empresa Productora de Gelatina S.A., ha aplicado el método de electrocoagulación para la eliminación de grasas y aceites en sus procesos de elaboración de gelatina, donde se obtuvieron resultados favorables, se logró la eliminación de aceites y grasas, denotando que el método es eficaz para la eliminación de materia orgánica y microorganismos presentes en los efluentes de la empresa (Morante, 2002). En Bogotá, Colombia, se desarrolló el método de electrocoagulación, para el tratamiento de efluentes de una industria galvánica donde se requería remover metales (Cr, Ni, Pb y Zn), además determinaron que el método de electrocoagulación es un método eficiente para la eliminación de contaminantes (Morales & Acosta, 2010). La electrocoagulación es una tecnología que se encuentra dentro de la electroquímica con grandes posibilidades para reducir contaminantes de los efluentes, los cuales pueden ser metales pesados y contaminantes orgánicos (Segura *et al.*, 2017). Por ello, el método de

electrocoagulación ha sido escogido para remover aceites y grasas de efluentes procedentes de industrias pesqueras en el Perú.

## **Conclusiones**

Las actividades de las industrias pesqueras generan contaminación que afectan al medio ambiente, por ello debe disminuirse la contaminación mediante el empleo de métodos de tratamientos biológicos, físicos y químicos, siendo más eficientes y utilizados los tratamientos químicos para la remoción de contaminantes. Entre ellos destaca, la electrocoagulación, el cual, es una tecnología que presenta diversas ventajas bajo costo de elaboración, simple, eficiente y ofrece un gran potencial para remover diversos contaminantes en industrias pesqueras como DBO, DQO, SST, aceites y grasas, materia orgánica y nutrientes, es uno de los métodos más utilizados, conocidos y viables en el tratamiento de los efluentes. Este método, utiliza ánodos y cátodos de hierro y aluminio que generan reacciones y proporcionan iones positivos y negativos para la eliminación de contaminantes.

## Referencias Bibliográficas

- Aguilar, E. A. (2015). Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua. *Rev. Del Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM*, 18(35), 69–73.
- Ambrosio, M. J. (2004). Procesamiento pesquero, disposición de residuos e impacto ambiental. *ResearchGate*, (9120), 8. Retrieved from <http://www.ecologistasenaccion.org/article10057.html>.
- Ancieta, C. (2014). Modelo matemático para determinar la calidad del agua de mar en la Bahía del callao, Perú. *Instituto de Investigación de Ingeniería Química*, (305), 1–98.
- Apaza, H. (2018). Sistema combinado electrocoagulación-filtro biológico para la remoción de carga orgánica de los efluentes lácteos. *Universidad Nacional Agraria La Molina*.
- Arango, A. (2005). La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista De Investigación*, II(1), 49–56.
- Arias, D., & Méndez, E. (2014). Remoción de sólidos en aguas residuales de la industria harinera de pescado empleando biopolímeros. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, V (3), 115–123. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/cein/v25n1/v25n1a03.pdf>
- Barrera, C., Castañeda, M., Cacecero, M., Hernández, I., Sánchez, P., & Lugo, V. (2017). Soft drink wastewater treatment by electrocoagulation–electrooxidation processes. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 38(4), 433–442. <https://doi.org/10.1080/09593330.2016.1196740>

Batelada, O., & Brady, F. J. (2003). *Tratamiento de Aguas Residuales por Ultrafiltración en Operación de Lote Tratamiento de Aguas Residuales por Ultrafiltração em.*

Cabrera, C. (2001). Contaminación e impacto ambiental en la bahía de Chancay. *Revista Del Instituto de Investigación*, 4 N°8, 37–46. Retrieved from <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/2327>

Carranza, C., Guadalupe, E., Maldonado, M., Arévalo, W., Pacheco, R., Giraldo, A., & Quispe, J. (2005). Evaluación ambiental de la Bahía de Paita. *Revista Del Instituto de Investigación FIGMMG*, 8, 14–18. Retrieved from [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol8\\_n15/a03.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol8_n15/a03.pdf)

Carrera, S.; Florian, M. (2013). “Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas tipo filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) con lenteja de agua”. *Universidad SurColombiana*, 1–47. Retrieved from [http://www.academia.edu/14499855/DISEÑO\\_DE\\_UNA\\_PLANTA\\_DE\\_TRATAMIENTO\\_DE\\_AGUAS\\_RESIDUALES\\_DOMÉSTICAS\\_TIPO\\_FILTRO\\_ANAEROBIO\\_DE\\_FLUJO\\_ASCENDENTE\\_FAFA\\_CON\\_LENTEJA\\_DE\\_AGUA](http://www.academia.edu/14499855/DISEÑO_DE_UNA_PLANTA_DE_TRATAMIENTO_DE_AGUAS_RESIDUALES_DOMÉSTICAS_TIPO_FILTRO_ANAEROBIO_DE_FLUJO_ASCENDENTE_FAFA_CON_LENTEJA_DE_AGUA)

CCarita, C., & Soto, E. (2018). DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO INTEGRAL DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE UNA PLANTA PROCESADORA DE ALIMENTOS BALANCEADOS MEDIANTE LA TECNOLOGÍA DE LODOS ACTIVADOS CON AIREACIÓN MECÁNICA EXTENDIDA CON ULTRAFILTRACIÓN CON MEMBRANAS MBR. *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*, III, 224–234.

- Coronado, N. (2018). Análisis temporal de parámetros físico - químicos de calidad de efluentes en establecimientos industriales pesqueros - Bahía del Callao. *Universidad Nacional Agraria la Molina*. Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3115/coronado-cuadros-natalia.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Correa, D., Tam, J., Pasapera, J., Saavedra, M., & Ingunza, A. (2008). Modelado de la circulación marina y descargas hipotéticas en la bahía del Callao, Perú. *Informe Instituto Del Mar de Perú*, 35(3), 181–192. Recuperado de: [http://www.imarpe.pe/imarpe/imagenes/portal/imarpe/pdf\\_callao\\_roms.pdf](http://www.imarpe.pe/imarpe/imagenes/portal/imarpe/pdf_callao_roms.pdf)
- Chinchilla, M. (2015). Relacion de parametros de diseño de trampas de grasas (Desengrasadores) versus su eficiencia en aguas residuales comerciales. *Universidad de San Carlos de Guatemala*, 3(2), 54–67.
- Dávila, J., Machuca, F., & Marrianga, N. (2009). Reducción de demanda química de oxígeno, carbono orgánico total y sólidos totales en vinazas mediante electro-flotación/oxidación. *Ingenieria e Investigacion*, 29(1), 35–38.
- Dudziak, M., Wyczarska-Kokot, J., Łaskawiec, E., & Stolarczyk, A. (2019). Application of Ultrafiltration in a Swimming Pool Water Treatment System. *Membranes*, 9(3), 44. <https://doi.org/10.3390/membranes9030044>
- Forero, J. E., Diaz, J., & Blandon, V. R. (1999). Diseno de un nuevo sistema de flotacion para tratamiento de aguas industriales. *CT y F - Ciencia, Tecnologia y Futuro*, 1(5), 67–75.



- Genc, A., & Goc, S. (2018). Electroflotation of oily wastewater using stainless steel sponge electrodes. *Water Science and Technology*, 78(7), 1481–1488. <https://doi.org/10.2166/wst.2018.422>
- Graça, N. S., Ribeiro, A. M., & Rodrigues, A. E. (2019). Modeling the electrocoagulation process for the treatment of contaminated water. *Chemical Engineering Science*, 379–385. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2018.12.038>
- Hakizimana, J. N., Gourich, B., Chafi, M., Stiriba, Y., Vial, C., Drogui, P., & Naja, J. (2017). Electrocoagulation process in water treatment: A review of electrocoagulation modeling approaches. *Desalination*, 404, 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.10.011>
- Islam, M. S., Khan, S., & Tanaka, M. (2004). Waste loading in shrimp and fish processing effluents: Potential source of hazards to the coastal and nearshore environments. *Marine Pollution Bulletin*, 49(1–2), 103–110. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.01.018>
- Electrocoagulación, P. D. E., Humberto, M., & Araiza, L. (2016). *Universidad de Guanajuato división de ingenierías departamento de Ingeniería Civil*.
- GilPavas, E., Medina, J., Dobrosz-Gómez, I., & Gómez, M. Á. (2016). Optimización de los Costos de Operación del Proceso de Electro-oxidación para una Planta de Tratamiento de Aguas Mediante Análisis Estadístico de Superficie de Respuesta. *Informacion Tecnologica*, 27(4), 73–82. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000400008>
- Marín, J., Chinga, C., Velásquez, A., González, A., & Zambrano, M. (2015). Tratamiento de aguas residuales de una industria procesadora de pescado en

reactores anaerobios discontinuos. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(1), 27–42. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/cein/v25n1/v25n1a03.pdf>

Melchior, M. S., Piovesan, M., Becegato, V. R., Becegato, V. A., Tambourgi, E. B., & Paulino, A. T. (2016). Treatment of wastewater from the dairy industry using electroflocculation and solid whey recovery. *Journal of Environmental Management*, 182, 574–580. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.08.022>

Méndez, N. R., López, N. A., Peraza, C. V., Borges, C. E., & Riancho, S. M. R. (2008). Remoción de materia orgánica y metales pesados de lixiviados por flotación con aire disuelto. *Ingeniería Revista Académica*, 12, 13–19.

Mendiola, S., Achútegui, J. J., Sánchez, F. J., & San José, M. J. (2010). Potencial contaminante del mar por aguas residuales de las industrias de harinas y aceites de pescado. *Grasas y Aceites*, 49(1), 30–33. <https://doi.org/10.3989/gya.1998.v49.i1.704>

MINAGRI (2012). *Reglamento de procedimientos administrativos para el otorgamiento de autorizaciones de vertimientos y reuso de aguas residuales tratadas*.

MINAM, M. del A. (2016). Decreto Legislativo N° 1278. Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. *Diario Oficial El Peruano*, (23 de diciembre), 56–67. Retrieved from <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Decreto-Legislativo-N-1278.pdf>

Ministerio del Ambiente. (2017). Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. *Normas Legales El Peruano*, 6–9. <https://doi.org/10.3354/meps08245>

- Morante, G. (2002). Electrocoagulación De Aguas Residuales. *Revista Colombiana De Física*, 34(2), 484–487. Revisado de: <https://blog.condorchem.com/wp-content/uploads/2011/10/electrocoagulacion-caso-practico.pdf>
- Morales, N., & Acosta, G. (2010). Sistema de electrocoagulación como tratamiento de aguas residuales galvánicas. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 20(201), 33–44. Recuperado de: <https://doi.org/10.18359/rcin.282>
- Mollah, M. Y. A., Schennach, R., Parga, J. R., & Cocke, D. L. (2001). Electrocoagulation (EC)- Science and applications. *Journal of Hazardous Materials*, 84(1), 29–41. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(01\)00176-5](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(01)00176-5)
- OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental). (2016). Evaluación Ambiental de la Bahía del Callao Durante el año 2016. 224. Retrieved from <http://repositorio.oefa.gob.pe/handle/123456789/61>
- Paredes, P. (2016). Producción más limpia y el manejo de efluentes en plantas de harina y aceite de pescado. *Industrial Data*, 17(2), 72. <https://doi.org/10.15381/idata.v17i2.12050>
- Produce, M. de la producción. (2009). *Guía Para La Actualización Del Plan De Pesqueros Alcancen El Cumplimiento De Los Limites Maximos Permisibles ( Lmp ) Aprobados Por Decreto Supremo N ° 010-*. Retrieved from [http://spij.minjus.gob.pe/Graficos/Peru/2009/abril/25/RM-181-2009-PRODUCE\\_Guia.pdf](http://spij.minjus.gob.pe/Graficos/Peru/2009/abril/25/RM-181-2009-PRODUCE_Guia.pdf)
- Restrepo Mejía, A. P., Arango Ruíz, Á., & Garcés Giraldo, L. F. (2006). La Electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas. *Producción+Limpia*, 1(2), 58–77. Retrieved from

<http://repository.lasallista.edu.co/dspace/handle/10567/514>

Riera, M., & Graterol, N. (2015). Diseño De Una Unidad De Flotación Con Aire Disuelto Para La Remoción De Contaminantes De Las Aguas Residuales Generadas En Una Empresa Manufacturera Design of a Unit Dissolved Air Flotation for Removal of Pollutants of the Wastewater Generated in a Manufacturing Company. *Venezuela*, 55(22), 777–796.

Rojas, C., De Turris, A., Suher, C., Herrera, L., Gutiérrez, C., & Cárdenas, C. (2011). Tratamiento De Aguas De Producción Por Flotación Con Aire Disuelto. *Interciencia*, 36(3). Retrieved from <https://www.redalyc.org/html/339/33917977009/>

Sánchez, J., & Cardona, S. (2009). Evaluation of the hydraulic behaviour of an aerobic reactor and an anaerobic reactor in a small domestic wastewater treatment plant. *Avances En Recursos Hidráulicos*, (20), 65–80.

Sanchez, G., Orozco, R., & Guzmán, M. (2008). Bahía Del Callao, Perú. Evaluación Ambiental En Marzo 2002. *Informe Del Instituto Del Mar Del Perú*, 35(1), 27–41. Retrieved from <http://biblioimarpe.imarpe.gob.pe:8080/handle/123456789/1848%0Ahttp://biblioimarpe.imarpe.gob.pe:8080/bitstream/handle/123456789/1848/INF.35%281%29-2.pdf?sequence=1>

Segura, S., Eiband, M., Melo, J. V. de, & Martínez, C. (2017). Electrocoagulation and advanced electrocoagulation processes: A general review about the fundamentals, emerging applications and its association with other technologies. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 801, 267–299. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2017.07.047>

Velasquez Flores, D. J. (UNALM). (2017). *Aplicación del método de electrocoagulación al efluente de la Planta Piloto de Leche “La Molina.”* 95–96.