



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Eliminación de aceites en aguas mediante electrocoagulación

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTORES:

Palacios Vásquez, Abner Arlinson (orcid.org/0000-0002-7777-7358)

Talledo Puestas, Narumi Nayelly (orcid.org/0000-0003-1855-4186)

ASESOR:

Dr. Monteza Arbulú, César Augusto (orcid.org/0000-0003-2052-6707)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

CHICLAYO — PERÚ

2023

DEDICATORIA

A nuestros padres y hermanos, por ser nuestra inspiración brindándonos su amor y su apoyo incondicional a lo largo de toda nuestra vida. A nuestros profesores y mentores, por compartir sus conocimientos y guiarnos en el camino del aprendizaje. A mis compañeros de estudio, por las horas de trabajo en equipo y el intercambio de ideas que enriquecieron este trabajo. A todas las personas que de alguna manera han sido parte de este camino, ¡gracias!"

Abner Arlinson y Narumí Nayelly

AGRADECIMIENTO

A mis padres y hermano ya que son ellos quien nos motivaron y apoyaron a salir adelante, y nunca rendirnos con las adversidades que nos da la vida.

Narumí Nayelly

A Dios, por darme la vida, salud y sabiduría para lograr culminar este trabajo con éxito.

A nuestro asesor Dr. Monteza Arbulú Cesar Augusto, por su invaluable orientación, apoyo y dedicación durante todo el proceso de investigación. Agradezco también a la Universidad César Vallejo por brindarme los recursos necesarios para llevar a cabo este estudio.

Finalmente, agradezco a todos aquellos que de alguna manera contribuyeron a la realización de esta tesis

Abner Arlinson

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR	iv
DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DE LOS AUTORES	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	5
III. METODOLOGÍA	11
3.1. Tipo y diseño de investigación	11
3.2. Variables y operacionalización.....	11
3.3. Población, muestra y muestreo.....	13
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	13
3.5. Procedimiento	14
3.6. Método de análisis de datos.....	17
3.7. Aspectos éticos	17
IV. RESULTADOS	18
V. DISCUSIÓN	37
VI. CONCLUSIONES	39
VII. RECOMENDACIONES	40
REFERENCIAS	41
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01. <i>Caracterización del efluente</i>	20
Tabla 02. <i>Especificaciones técnicas de cada componente del sistema de la celda de electrocoagulación de flujo continuo</i>	21
Tabla 03. <i>Especificaciones de los electrodos</i>	22
Tabla 04. <i>Especificaciones de la fuente de alimentación</i>	22
Tabla 05. <i>Condiciones experimentales iniciales</i>	26
Tabla 06. <i>Resultados de la concentración final de aceites</i>	31
Tabla 07. <i>Valores máximos admisibles para grasas y aceites</i>	32
Tabla 08. <i>Porcentaje de remoción de aceite</i>	34
Tabla 09. <i>Porcentaje de remoción de aceite</i>	35

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 01.</i> Diagrama de flujo	16
<i>Figura 02.</i> Formula para hallar la masa del aceite	18
<i>Figura 03.</i> Concentración inicial de aceite en el efluente	19
<i>Figura 04.</i> Zona de reacción.....	23
<i>Figura 05.</i> Zona de sedimentación	23
<i>Figura 07.</i> Medición de temperatura 19 °C y pH 7	24
<i>Figura 08.</i> Medición de temperatura 19°C y pH 8.	24
<i>Figura 09.</i> Llenado de la Celda de EC con caudal de 6 ml/s.....	25
<i>Figura. 10.</i> Corriente eléctrica Amperaje = 2 A/m ² y Voltaje 42 V	25
<i>Figura 11.</i> Distancia de 1cm entre cada placa	26
<i>Figura 12.</i> Inicio del Proceso de EC	27
<i>Figura 13.</i> Generación de espuma en el transcurso del proceso de EC	27
<i>Figura 14.</i> Final del tratamiento pH 7 a 40 minutos.....	28
<i>Figura 15.</i> Final del tratamiento de pH 8 a 30 minutos.....	28
<i>Figura 16.</i> Muestras tomadas después del tratamiento de EC.....	29
<i>Figura 17.</i> Filtrado del agua tratada	29
<i>Figura 18.</i> Tara de las muestras a pH 7 y pH 8, con tiempo de tratamiento de 30, 40 y 50 minutos	30
<i>Figura 19.</i> Concentración final de aceites y grasas.....	31
<i>Figura 20.</i> Comparación de los resultados finales de aceites y grasas respecto a los valores máximos admisibles.	33
<i>Figura 21.</i> Porcentaje de remoción de A Y G en función al tiempo de tratamiento y pH 7.....	34
<i>Figura 22.</i> Porcentaje de remoción de A Y G en función al tiempo de tratamiento y pH 8.....	35
<i>Figura 23.</i> Comparación de la concentración inicial y concentración final de Aceites y Grasas.....	36

RESUMEN

En este estudio, se abordó la problemática de la contaminación por aceites en aguas residuales, destacando la eficacia de la electrocoagulación como solución. La caracterización inicial del efluente reveló concentraciones de grasas y aceites de 1836 mg/L, con parámetros como conductividad, pH y temperatura. Se diseñó una celda de electrocoagulación con 19 electrodos de aluminio que evaluó la remoción de aceites de soya, variando el tiempo de tratamiento y el pH. Tras 6 pruebas experimentales, se alcanzó una eficiencia óptima del 95,85% con una densidad de corriente de $2A/m^2$, 40 minutos de tiempo de residencia y pH 7. En conclusión, la electrocoagulación resultó efectiva para eliminar contaminantes aceitosos en aguas residuales.

Palabras clave: Electrocoagulación, remoción, aceite, pH, aluminio

ABSTRACT

In this study, the problem of oil contamination in wastewater was addressed, highlighting the effectiveness of electrocoagulation as a solution. The initial characterization of the effluent revealed concentrations of fats and oils of 1836 mg/L, with parameters such as conductivity, pH and temperature. An electrocoagulation cell was designed with 19 aluminum electrodes that evaluated the removal of soybean oils, varying the treatment time and pH. After 6 experimental tests, an optimal efficiency of 95.85% was reached with a current density of 2A/m², 40 minutes of residence time and pH 7. In conclusion, electrocoagulation was effective in eliminating oily contaminants in wastewater.

Keywords: Electrocoagulation, removal, oil, pH, aluminum.

I. INTRODUCCIÓN

La problemática mundial respecto al déficit de agua es una crisis que empeora con las variaciones del cambio climático. Según estadísticas proporcionadas por las Naciones Unidas, aproximadamente 1,3 mil millones de individuos en todo el mundo carecen de acceso a agua potable y aproximadamente 2,4 mil millones de personas no disponen de servicios de saneamiento adecuados. Además de ello, menciona que la población con un estrato económico bajo, muy pocas veces realiza un tratamiento de aguas residuales, debido a los altos costos que conlleva realizar dicho tratamiento. Herrero (2008)

Latinoamérica y el Caribe, no son ajenas a esta problemática mundial, así tenemos que la CEPAL (2018, p. 12), y el Banco Interamericano para el Desarrollo, informan que entre el 25% y 30% de las aguas residuales de origen urbano, son vertidos al medio ambiente sin previo tratamiento; esta problemática se presenta debido a que la infraestructura de una PTAR es deficiente o no se cuenta con una.

Saad, et al. (2021), menciona que, Malasia es uno de los países con mayor producción en aceite de Palma, la cual a lo largo de los años ha provocado un aumento exponencial en los residuos generados por dicha actividad; a pesar de que dichas aguas residuales son tratadas y vertidas a ríos por métodos convencionales biológicos como la del (POME), este tipo de tratamiento con el tiempo y según los múltiples estudios se ha considerado desactualizado y poco viable. Eliminar el aceite de las aguas residuales representa un desafío de gran relevancia en las prácticas de tratamiento (An et al. 2017).

En el Perú, el OEFA, menciona que, la infraestructura de PTAR son deficientes, ya que 2 217 946 m³ de aguas residuales, son vertidas en los sistemas de drenaje y alcantarillado, dando como resultado un colapso en dichas infraestructuras, sumado a ello solo el 32% de esta cantidad son tratadas, lo restante es vertido directamente al mar o es utilizada para fines de riego agrícola sin consideraciones de los impactos negativos que pueda ocasionar este hecho.

Así mismo, el Gobierno Regional de Lambayeque, nos menciona que, la provincia de Chiclayo genera 25.920 m³/día de aguas residuales, donde a través de distintos drenes son vertidos a cuerpos de agua, tales como mares, canales de riego y

alcantarillado.

Actualmente en nuestro país el ANA, según el registro del PAVER-(programa de adecuación de vertimiento y reúso de aguas residuales), menciona que 54 m³/s de aguas residuales sin tratamiento son vertidos a fuentes superficiales, por lo que, según la interpretación del DL N°1285, menciona que, no se puede verter aguas residuales directamente a las fuentes naturales o dándoles algún uso agrícola sin un previo tratamiento por razones de salud pública y ambientales.

Por otro lado, existe un componente presente en la mayoría de las aguas residuales, la cual su tratamiento muchas veces es muy costoso, hablamos del aceite, donde 1 litro de este elemento llega a contaminar hasta 40 mil litros de agua, que representa al consumo de agua en un año que tiene un habitante. (Canal y Ubierna 2017)

Las grasas y los aceites representan un gran problema en el tratamiento de las aguas residuales, debido a que, al ser inmiscibles en el agua no se mezclan, por lo que se genera una capa oleosa, reduciendo el oxígeno presente en el agua y dando como resultado la muerte de los ecosistemas acuáticos y por ende aumentando la eutrofización. Bravo Osomo y Salgado (2016).

Según el INEI (2023), en el mes de enero del presente año, la actividad de restaurantes aumentó en un 9,28% a comparación del año 2022 , la cual es beneficiosa para la economía del Perú ; sin embargo dicha actividad genera aguas contaminadas con elevadas concentraciones de grasas, aceites, detergentes, sólidos, etc. , las cuales son directamente depositadas en la red de alcantarillado sanitario sin tratamiento previo para la remoción de los contaminantes, incumpliendo la normativa de los valores máximos admisibles N° 1, establecido en El DS N°010-2019-Vivienda.

Es preciso mencionar que la cantidad global de aceites que se presentó en las aguas residuales fue de 9 a 14 mil millones de m³ en el año 2012; por lo que, al no ser tratada eficientemente al momento de su descarga al ambiente, forman películas superficiales, impactando en los recursos ecológicos, (An et al. 2017).

Es por ello que, el aceite es considerado como uno de los contaminantes con mayor presencia en las aguas residuales, siendo un factor grave, debido a la formación de

una capa densa, donde el paso de oxígeno a los seres vivos del cuerpo de agua es muy bajo, ocasionando que haya una muerte en los mencionados, (Moya Salazar 2020, p. 2).

Basándonos en lo mencionado anteriormente, el desafío de abordar esta problemática, que afecta a nivel local, nacional y global, requiere aplicar soluciones sostenibles capaces de reducir la presencia de aceites en las aguas, manteniendo costos operativos viables. Es por ello, que la electrocoagulación, de aquí en adelante EC, surge como un tratamiento efectivo para eliminar aceites y grasas presente en aguas de origen municipal y no municipal. Sin embargo, se deben tener en cuenta aspectos técnicos y científicos, para que el tratamiento sea efectivo

La electrocoagulación es un tratamiento simple y eficaz, donde la presencia de ánodos y cátodos facilita la eliminación de contaminantes por flotación, especialmente el mencionado método es efectivo en eliminación de aceites presentes en las aguas, ya que neutraliza las cargas y une los contaminantes de dicha sustancia a los flóculos generados y a las burbujas de hidrógeno, (An et al. 2017).

Así mismo, Reátegui et al. (2020), obtuvo resultados de eliminación de aceites y grasas en efluentes domésticos del 94,9%, 96.75% y 96.53%, utilizando combinaciones de ánodos de 2Fe -1Al y 1Fe -2Al, con un tiempo de 15 minutos, separación entre electrodos de 3 cm, pH de 8 y una densidad de corriente 37, 56 y 74 A/m²

La totalidad de los puntos antes expuestos nos induce a formularnos la siguiente interrogante: ¿Cuál es la eficiencia de la técnica de electrocoagulación en la eliminación de aceites en aguas?

La justificación de esta investigación radica en la necesidad de abordar de manera efectiva y económica el problema ambiental generado por la presencia de aceites en cuerpos de agua. La electrocoagulación se presenta como una alternativa viable para la eliminación de estos contaminantes. Dado que muchas actividades humanas generan estos residuos, y su vertido sin tratamiento adecuado afecta tanto el entorno natural como la salud de la población.

Es importante recalcar la relevancia de la presente investigación, ya que la

implementación del tratamiento para la remoción de aceites en aguas por electrocoagulación se convierte en una medida esencial para contrarrestar impactos ambientales que deterioran la calidad del agua y amenazan la salud de los ecosistemas acuáticos

Además de ello, conlleva una importancia en el aspecto social debido a que, la falta de acceso a agua limpia y segura recae en las poblaciones más vulnerables, exacerbando las desigualdades, la implementación de soluciones efectivas y de bajo costo, como la electrocoagulación tiene el potencial de mejorar la calidad de vida y la salud de estas comunidades.

Así mismo los métodos convencionales de tratamiento suelen ser costosos debido a la necesidad de equipos sofisticados y productos químicos. La electrocoagulación ofrece una alternativa económicamente viable al reducir los costos de operación y mantenimiento. Además, al abordar de manera efectiva el problema de la contaminación de aguas residuales, las industrias pueden evitar multas y sanciones regulatorias.

En tal sentido el presente trabajo tiene como objetivo general determinar la eficiencia de remoción de aceites en una celda de electrocoagulación de flujo continuo a escala de laboratorio

Del mismo modo, se plantearon tres objetivos específicos. Cuantificar la concentración inicial de aceites del agua contaminada por aceite, construir la celda de electrocoagulación de flujo continuo, realizar el procedimiento de electrocoagulación a pH 7 y pH 8, con tiempo de operación de 30, 40 y 50 minutos manteniendo las otras variables como constantes y cuantificar la concentración de aceites posterior al tratamiento y compararlas con los valores máximos admitidos.

Así mismo, la hipótesis es: La técnica de electrocoagulación en una celda a flujo continuo remueve aceites presentes en el agua.

II. MARCO TEÓRICO.

Para comenzar a presentar los antecedentes, se requiere primero establecer la electroquímica como la base en la que se sustenta la electrocoagulación, resulta ser el estudio de las reacciones químicas causadas por la corriente eléctrica, o electro química, una ciencia que se desarrolló en el siglo XVII (Giraldo & Ocampo, 2002).

Lacasa et al. (2011) y Romero (2015), mencionan que, “la Electrocoagulación es un proceso en el cual se desestabiliza las partículas de contaminantes que se encuentran en el medio acuoso; mediante la aplicación de corriente se produce un coagulante debido a la oxidación del ánodo (electrodo de sacrificio)”. Ruiz (2005), menciona que “en el cátodo se produce la liberación de burbujas de hidrógeno en estado gaseoso, la cual potencian la flotación de sustancias floculadas”.

Morales (2018), menciona que, “en el proceso de EC se observan tres etapas, en la primera el ánodo se oxida y libera un coagulante (Al^{+3}), seguido se desestabiliza los contaminantes y finalmente por adsorción entre el contaminante y el coagulante se genera flóculos, los cuales pueden ser removidos”.

En este sentido Ruiz (2005), nos menciona que, “en la formación de Al^{+3} o Fe^{+3} y los OH formados en el cátodo producirá la siguiente reacción: $Al^{+3} + 3OH \rightarrow Al(OH)_3$ Hidróxido de aluminio o $Fe^{+3} + 3OH \rightarrow Fe(OH)_3$ Hidróxido Férrico, los cuales son los responsables de captar las gotas de aceite y llevarlas a la superficie donde pueden ser removidas del efluente”.

Según Ruíz et al. (2017), Restrepo (2016), afirman que, “la electrocoagulación es muy recomendable para la amplia gama de remoción de contaminantes. A comparación con otros tratamientos tradicionales como el físico químico o el biológico, la técnica de electrocoagulación presenta numerosas ventajas, sin embargo, se debe tener en cuenta factores como el pH, la intensidad de la corriente, la conductividad y la temperatura estas variables tienen un impacto significativo en la eficacia del procedimiento”.

Sangal, Mishra y Kushwaha 2013 y Morante (2002), afirman que, “obtuvieron una remoción de aceites del 99% y 90%, coincidiendo en que el electrodo de Al, fue el más eficiente en la remoción de aceites en aguas residuales, además de ello, se

tuvo en cuenta parámetros como el pH el cual estuvo en un rango óptimo de 7 y 10, densidad de corriente de 138 A/m^2 y 0.00023 A/m^2 , temperatura de $20 \text{ }^\circ\text{C}$ y $19.7 \text{ }^\circ\text{C}$ y un tiempo de 3 hrs y 15 minutos para el segundo caso”.

Gobbi et al. (2018) y Malika et al. (2010), en sus respectivas investigaciones, se centraron en la eliminación de aceites en los cuerpos de agua mediante el proceso de Electrocoagulación, usando placas de Aluminio y Fierro, con una distancia de 1 cm entre placas, obteniendo un 97.77 % y 98% respectivamente.

Ji, Jiang y Wang (2015), en su investigación titulada “Un enfoque mecanista y optimización de la superficie de respuesta para la eliminación de aceite y grasas de aguas residuales de restaurantes mediante electrocoagulación y electro flotación”, obtuvieron una eficacia en la eliminación de aceites del 95%, considerando parámetros como el tiempo de reacción el cual fue de 34 minutos y una densidad de corriente de 43 A/m^2

Ramírez et al. (2011), nos menciona que, “los iones de Al^{3+} es considerado como un coagulante muy eficiente para la floculación de partículas debido a que forma largas cadenas de $\text{Al} - \text{O} - \text{Al-OH}$, estos son usados mayormente para tratar agua potable en donde absorben químicamente una gran cantidad de contaminantes entre ellas las grasas y aceites del medio acuoso”.

Es preciso mencionar que Aguilar (2018), en su investigación refiere que, “un sistema de electrocoagulación con flujo continuo permite que se remueva los contaminantes como medio electrolítico induciendo energía eléctrica mediante placas metálicas que sirven como ánodo y cátodo dentro de un medio lo cual desestabiliza las partículas”. “Asimismo, se tiene que un sistema de flujo continuo está caracterizado por presentar un caudal y concentración de forma constante, y el rendimiento que llegue a tener se encuentra principalmente en relación con el tiempo que resida en la celda. Se destaca que el flujo tiene influencia directa con la eficiencia en la remoción de contaminantes, debido a que, si el caudal aumenta, los porcentajes de contaminantes que se remueven disminuyen”.

“El proceso de electrocoagulación se ve afectado por una amplia gama de variables, algunas de las cuales tienen un impacto significativo. El pH es el factor más importante que hay que tener en cuenta cuando se produce la coagulación.

Para cada agua, existe un intervalo ideal de pH en el que la coagulación se produce rápidamente; éste depende del tipo de iones presentes y de la alcalinidad del agua, un intervalo eficiente para que se produzca la coagulación está dado entre pH 6.5 a 8.0". (Hodaifa, et al. 2019, p.7).

Morales (2018), Soto et al (2023) y Melly y Ushñahua (2022), realizaron el tratamiento de aguas residuales por electrocoagulación para eliminar aceites presentes en un medio acuoso, coincidiendo que, "el valor óptimo de pH para alcanzar una remoción efectiva de aceites está en el rango de 7 a 8".

Metcalf & Eddy (2014), Restrepo (2015), coinciden en que, "en general, la eliminación de contaminantes aumenta a medida que incrementa la densidad de corriente. Una densidad de corriente excesiva provocaría una reducción considerable de la eficacia. Otros factores operativos, como el pH y la temperatura, podrían tenerse en cuenta a la hora de elegir la densidad de corriente".

Jiang et al. (2023) y Yu, et al. (2021), mencionan que el electrodo de sacrificio posee una capa de pasivación que debe ser destruida para liberar iones, los cuales son los responsables de la floculación de los contaminantes, lo que eleva los costos operativos y reduce la eficiencia de eliminación de los contaminantes, sugiriendo agregar una solución de NaCl a la muestra para remoción de metales pesados, con el fin de diluir la capa mencionada y así optimizar la EC".

Soto et al (2023) Abdel-Aziz et al. 2016 y Gobbi et al. (2018), en sus respectivas investigaciones coinciden que, "agregar cloruro de sodio en el medio acuoso es beneficioso por tres razones principales, i) aumenta la conductividad electrolítica ii) durante el proceso de electrolisis produciremos cloruro activo, contribuyendo a la desinfección del agua iii) se eliminará la formación de una capa pasiva en el ánodo mejorando la eficacia de la corriente". Los mencionados autores usaron una concentración de 2g/L, 3.5 g/L y 10 g/L obteniendo una remoción de aceites de 91%, 89% y 97 %.

"La efectividad del mecanismo de EC se basa en las características químicas del medio y su capacidad de conductividad". (Altınten et al. 2016, p. 2).

"Por lo que un aumento en la conductividad eléctrica conlleva a un aumento en la densidad de corriente". (Arango, 2012). Así mismo Dehghani et al. (2020),

menciona que, “la conductividad eléctrica se entiende como la presencia de iones e impurezas como la sal presente en el cuerpo de agua, por lo que a través de la EC logró reducirla hasta en un 96 % con los siguientes datos 4865 $\mu\text{s}/\text{cm}$ a 2654 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ”.

Kamaraj, Ganesan y Vasudevan (2015, p. 3,4), consideran que, “los efectos de la temperatura en la EC están orientados en los parámetros de adsorción termodinámica, es decir que, para obtener una comprensión del impacto de la temperatura en el proceso de adsorción, es necesario analizar y calcular los parámetros termodinámicos correspondientes a varias temperaturas”.

Por otro lado, Arango (2012) y Sangal, Mishra y Kushwaha (2013), utilizando electrodos de aluminio mencionan que, “el rango de temperatura influye en la eficiencia de la corriente aplicada, siendo 20°C por 3hrs la condición más eficaz de remoción de aceites debido a que esta aumenta la solubilidad del Al”.

Del mismo modo Soto et al (2023) en su investigación titulada “Remoción de lubricantes industriales en aguas residuales por electrocoagulación”, afirman que obtuvieron un 91% de remoción de aceites lubricantes utilizando electrodos de Aluminio y con parámetros de operación como el pH de 8.1 unidades, conductividad 2920 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y un tiempo de operación de 30 minutos.

“La eficiencia de eliminación y el consumo de energía se ven directamente afectados por la distancia entre los electrodos. Al reducir la distancia entre los electrodos, se logra una mayor eficiencia de eliminación, pero esto también conlleva un incremento en el consumo de energía debido a una mayor resistencia eléctrica” (Kamaraj, Ganesan y Vasudevan 2015, p.).

(Gobbi et al. 2018, p. 7) (Priya y Jeyanthi 2019), mencionan que, “la distancia entre electrodos es muy importante, esta distancia depende del tipo de electrodo que se va a utilizar”, para el primer autor la distancia óptima es de 1 cm debido a que el electrodo que utilizó fue Al - Al es decir monopolar; para el siguiente caso se combinaron electrodos para observar la eficacia utilizando Cu y Al, con una distancia de electrodos de 4 cm.

Así mismo Morales (2015), para su investigación donde trató agua residual de biodiesel mediante electrocoagulación, que tuvo como objetivo principal determinar

el tiempo y los electrodos adecuados para reducir los índices de grasa y turbidez. Se emplearon dos materiales de electrodos, el Fe y Al, con forma rectangular y puestos paralelamente en un reactor Batch. Como resultados se obtuvo que el tiempo adecuado para el tratamiento de estas aguas es de 20 minutos, y que en los indicadores de DO y dureza disminuyeron con los electrodos de aluminio, mientras que respecto al pH y la alcalinidad fue a la inversa. Se concluyó que después del tratamiento estas aguas ya no causan daño al medio ambiente.

Según Hernández, (2013), “en los casos que, son mayormente comunes los ánodos que se emplean frecuentemente son Fe^{+3} y el Al^{+3} ”. En cada electrodo se producen procesos químicos particulares, y el floculante se inyecta como resultado de una de estas reacciones que se producen, este procedimiento permite controlar minuciosamente la cantidad de reactivo que se introduce en el efluente y la reacción que se produce en el electrodo. Los electrodos de aluminio son ácidos debido a la evolución del hidrógeno en el cátodo y la hidrólisis en el ánodo.

Rodríguez, J. (2014) menciona que, “los reactores de electrocoagulación de flujo continuo, se encuentran clasificados según esté expresada la flotación en el sistema. Esto quiere decir que, una vez ejecutado el proceso de coagulación, el contaminante puede ser separado del medio acuoso bajo dos formas; ya sea por sedimentación o flotación”.

Por otro lado, Gómez-Biedma, Soria y Vivó (2002), precisan que “una celda electroquímica está compuesta por dos electrodos unidos por un hilo conductor y sumergidos en soluciones electrolíticas”. Por lo que Jiang et al. (2002), nos menciona que, “una configuración bipolar de electrodos en serie de las celdas electroquímicas presenta una mayor ventaja a las monopolares debido a que requiere una menor intensidad de corriente, pero mayor voltaje, además de ello su disposición es sencilla debido a que solo necesita la conexión de dos electrodos alimentadores”. Es preciso mencionar a Navarro (2007) donde menciona, “que las celdas electroquímicas que presentan canales múltiples para la circulación del agua en el reactor son sencillas para su disposición sin embargo se debe tener en cuenta que dicha disposición pueda conllevar a la pasivación de los electrodos”.

Ruiz y Giraldo (2007), en su investigación titulada “Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea”,

nos menciona que, para el diseño de una celda de EC es necesario considerar aspectos tales como el tipo y disposición de los electrodos, geometría de la celda, materiales y tipo de conexión.

Es así que usaron una celda electroquímica tipo Batch con capacidad de tratamiento de 2 L. La celda de EC se diseñó considerando tres regiones esenciales, la región superior denominada zona de flotación, siguiendo con una región media denominada zona de reacción y por último una zona inferior denominada zona de precipitación. Es preciso mencionar que el voltaje que requirieron para la celda se calculó de acuerdo a la forma de conexión de los electrodos, la cual fue bipolar.

Así mismo Aguilar (2015) en su investigación titulada “Evaluación de la Eficiencia de una celda de Electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua” realizó la construcción de una celda tipo Batch con capacidad de 4.5 L, arreglo monopolar en serie y variación de pH a 4, 7.12 y 10, donde los electrodos de fierro y aluminio estuvieron conectados a una fuente de poder de voltaje y amperaje variable, obteniendo un porcentaje de remoción de DQO del 87%.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación fue aplicada ya que su objetivo se basó en buscar conocimientos para poder ser aplicados a los problemas que han surgido en la sociedad y el sector productivo Lozada (2014). Así también Gay, Mills y Airasian (2012) sostienen que, “una investigación aplicada comprende la recopilación de datos para probar la hipótesis o en su defecto dar respuesta a preguntas relacionadas al sujeto de estudio”.

Fue cuantitativa ya que se ha establecido datos numéricos y herramientas estadísticas resultado de la manipulación de las variables en estudio. Este enfoque de investigación nos permitió realizar proyecciones y estudiar los fenómenos de causa efecto a través de inferencias estadísticas de formulación previa de la hipótesis.

Gay, Mills y Airasian (2012) El diseño fue experimental puro, debido a que se realizó una manipulación del pH y tiempo de operación, para evaluar su impacto en la eficiencia de la técnica de la electrocoagulación. Según Ramón (2016) los diseños experimentales intentan establecer básicamente relaciones causa-efecto. Es decir, un diseño experimental puro es aquel en el cual se manipula una o varias variables independientes para observar sus efectos sobre las variables dependientes.

Tomamos una muestra de 30 L del de agua, que fue contaminada con aceite orgánico de soya a una concentración inicial de 2 ml/L; seguido se procedió a la homogeneización de la muestra en un agitador magnético MSH-S. SCIOLOGEX a temperatura de 50 °C, 260 rpm y un tiempo determinado de 25 minutos, como indica Soto et al (2023).

3.2. Variables y operacionalización

Se identificaron dos variables:

Variable dependiente: Remoción de aceites en aguas

Definición conceptual: La presencia de aceite en el agua se atribuye a

toda sustancia de naturaleza lipídica, que, al ser inmiscibles con el agua, van a permanecer en la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas. Estas natas y espumas entorpecen cualquier tipo de tratamiento físico o químico, por lo que deben eliminarse en los primeros pasos del tratamiento de un agua residual Bravo et al (2016).; la remoción de este contaminante se refiere al proceso de desestabilizar las partículas de aceite coloidal mediante la aplicación de corriente, dichas partículas desestabilizadas flotan en el hidróxido metálico, llegando a la superficie en donde pueden ser removido con facilidad. Ruiz (2005)

Definición operacional: La concentración de aceite se determinó a través del método soxhlet, este método inicia con la filtración de la muestra realizada por un procedimiento al vacío, la cual es una técnica de separación de mezclas sólido-líquido. La mezcla se introduce en un embudo plano con el papel de filtro acoplado al fondo. Desde el fondo del embudo se aplica con una bomba un vacío que succiona la mezcla, quedando el sólido atrapado entre los poros del filtro, el resto de la mezcla atraviesa el filtro de 11 cm de diámetro cuantitativo (Whatman N.º 40 o equivalente) y queda depositada en el fondo del recipiente. Osorio (2022)

Indicadores. Concentración de aceite presente en el agua contaminada

Escala de medición. Razón

Variable independiente: Electrocoagulación

Definición conceptual. Lacasa et al. (2011) y Romero (2015), mencionan que la electrocoagulación es un proceso en el cual se desestabiliza las partículas de contaminantes que se encuentran en el medio acuoso; mediante la aplicación de corriente se produce un coagulante debido a la oxidación del ánodo (electrodo de sacrificio), Ruiz (2005), menciona que en el cátodo se produce la liberación de burbujas de hidrógeno en estado gaseoso, la cual potencian la flotación de sustancias floculadas.

Definición operacional. Se uso una celda de electrocoagulación de flujo continuo, la cual estuvo compuesta por 19 electrodos de aluminio, con una distancia de 1cm entre cada placa y una configuración bipolar de

electrodos. La corriente eléctrica se aplicó de manera constante a 2 A/m²; se midió la eficiencia de la EC en términos de la remoción de aceites presentes en el agua, expresada en porcentaje de remoción, con la siguiente fórmula.

$$\%R = \frac{A_{inicial} - A_{final}}{A_{inicial}} \times 100$$

Dimensiones: pH, tiempo de tratamiento

Escala / Niveles de medición: Intervalo, razón

3.3. Población, muestra y muestreo

Población: la población a estudiar fueron todas las aguas contaminadas con aceite de soya.

Muestra: la muestra fue de 30 litros de aguas contaminadas por aceite de soya

Muestreo: se empleó el tipo de muestreo no probabilístico por conveniencia

Unidad de análisis: la unidad de análisis fue de 1 litro de agua contaminada por aceite de soya.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Observación: es la técnica que se caracteriza por consignar de forma sistemática y confiable el comportamiento y la conducta que muestran las variables durante la investigación (Matos y Pasek 2008). Así mismo para López, et al. (2006), nos menciona que, “la técnica de observación permite al investigador analizar la situación social en estudio, para ello es imprescindible un análisis de forma directa y en el momento que dicha situación se lleve a cabo”.

Ficha de recopilación de datos: instrumento utilizado, la cual consiste en obtener datos de la fuente primaria, para profundizar en el conocimiento del comportamiento de exploración, estas fichas no tienen un diseño

estandarizado para su aplicación, sin embargo, se puede elaborar según la necesidad que requiere el investigador. Ly (2012).

3.5. Procedimiento

Para el tratamiento de electrocoagulación se tomó una muestra de un 1 litro de agua potable contaminada con aceite de soya, la cual tuvo una concentración inicial de aceite de 2 ml/L; seguido se procedió a la homogenización del agua contaminada en una beaker de 2L, con un agitador magnético MSH-S. SCIOLOGEX a temperatura de 50 °C, 260 rpm y un tiempo determinado de 25 minutos.

Seguidamente se controló los siguientes parámetros: pH 7 y 8 temperatura 19.0 °C conductividad 2.86 $\mu\text{S}/\text{cm}$ densidad de corriente eléctrica 2 A/m^2 y un intervalo de tiempo de 30,40 y 50 minutos.

Una vez realizado el proceso de EC, se procedió a realizar la filtración del aceite del agua tratada, para ello se usó un matraz Kitasato, embudo boucher en el cual encima de ello se coloca el papel filtro n°42 junto a la tierra diatomea, un tapón de rosca patentado, manguera de silicona y una bomba de succión al vacío.

Finalmente, para la cuantificación de la concentración de aceite del tratamiento, se utilizó nuevamente el método soxhlet, la cual convencionalmente se usa en las industrias para determinar el contenido graso en distintas muestras.

Los materiales y equipos que se requirieron para poder realizar el tratamiento fueron los siguientes:

- Vaso beaker
- Aceite
- Pipeta
- Balde de plástico
- Sal caustica
- Manguera de silicona
- Cloruro de sodio

- Placas de aluminio
- Cables de pinza de cocodrilo
- Papel filtro nº42
- Tierra diatomea
- Guantes
- Mascarilla
- Pabilo
- Éter de petróleo
- Placas de acrílicas
- Pegamento

FLUJOGRAMA DE LA CELDA

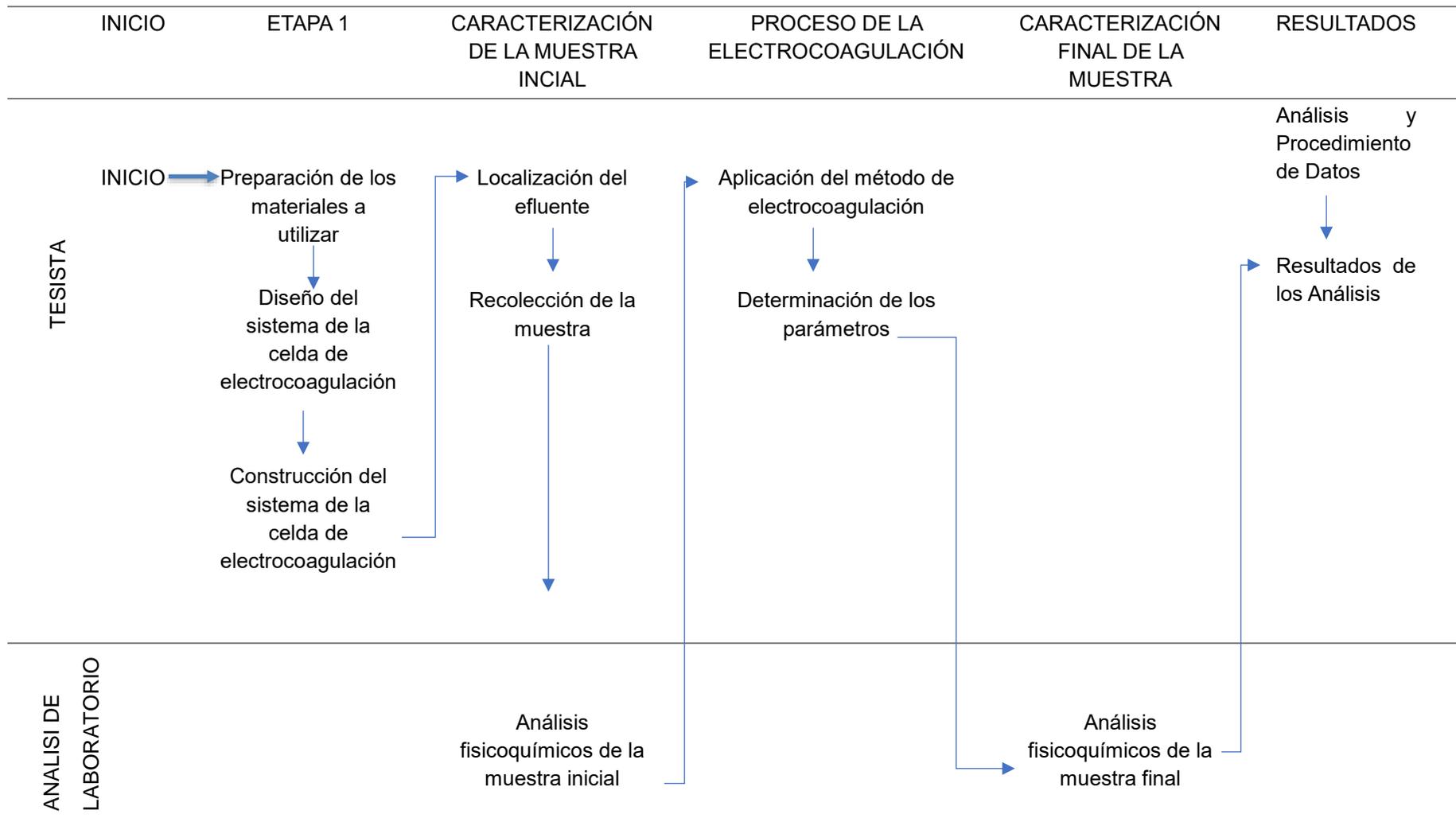


Figura 01. Diagrama de flujo

Fuente: Elaboración propia

3.6. Método de análisis de datos

Se empleo el software estadístico SPSS para el procesamiento de datos. Asimismo, el software Excel para ordenar la información. También, se utilizó el método Soxhlet para determinar la concentración de aceites.

3.7. Aspectos éticos

Los aspectos éticos que se han tomado en consideración se basan en la autenticidad y el respeto hacia las fuentes de información, habiendo realizado las citas de los autores respectivos de manera correcta reconociendo los derechos de los mismos, citándolos de acuerdo a la norma ISO 690, incluyendo el cumplimiento de la ética de investigación normada por la Universidad César Vallejo mediante la RCU N°0126-2017/UCV, donde señala que para realizar un estudio de investigación se tiene en cuenta una serie de normas donde se rigen las buenas prácticas y principios éticos con el fin de avalar la responsabilidad de los investigadores. También, el proyecto de investigación ha sido sometido al software Turnitin para comprobar la originalidad.

IV. RESULTADOS.

1: Cuantificar la concentración inicial de aceites del agua contaminada por aceite.

Se realizó la cuantificación inicial del efluente contaminado por aceite de soya, para dicho proceso, primero se determinó la masa del contaminante, que en este caso es el aceite de soya con la siguiente fórmula:

Fórmula para hallar la masa del aceite

$$\rho = m/v \quad \swarrow \quad \text{m} = \rho * v$$
$$\quad \searrow \quad \quad \quad v = m/\rho$$

Figura 02. Formula para hallar la masa del aceite

Fuente: Elaboración propia.

Dónde:

ρ = Densidad

m= masa

v= volumen

Reemplazando:

$$m_{\text{aceite}} = 920 \text{ g/l} * 60 \text{ ml} \longrightarrow 60 \text{ ml} = 0.06 \text{ L}$$

$$m_{\text{aceite}} = 55.2\text{g}$$

Una vez obtenida la masa del aceite 55.2 g se realizó la concentración inicial del aceite, para lo cual requerimos los siguientes datos:

1. **Volumen total del efluente.** El total del efluente evaluado fue de 30 L.
2. **Masa total de aceites:** Este indicador se calculó en la anterior ecuación la cual fue de 55.2g.

Con esta información podremos calcular la concentración inicial de aceites en el agua contaminada, las unidades en las cuales se representó este resultado fueron en (ppm)

Dónde:

$$C_{\text{inicial}} (\text{ppm}) = \frac{\text{Masa de aceite (g)}}{\text{Volumen de agua (L)}} \times 10^6$$

Reemplazando:

$$C_{\text{inicial}} (\text{ppm}) = \frac{55.2 \text{ g}}{30 \text{ L}} \times 10^6$$

$$C_{\text{inicial}} (\text{ppm}) = 1836 \text{ ppm ó } 1836 \text{ mg/L}$$

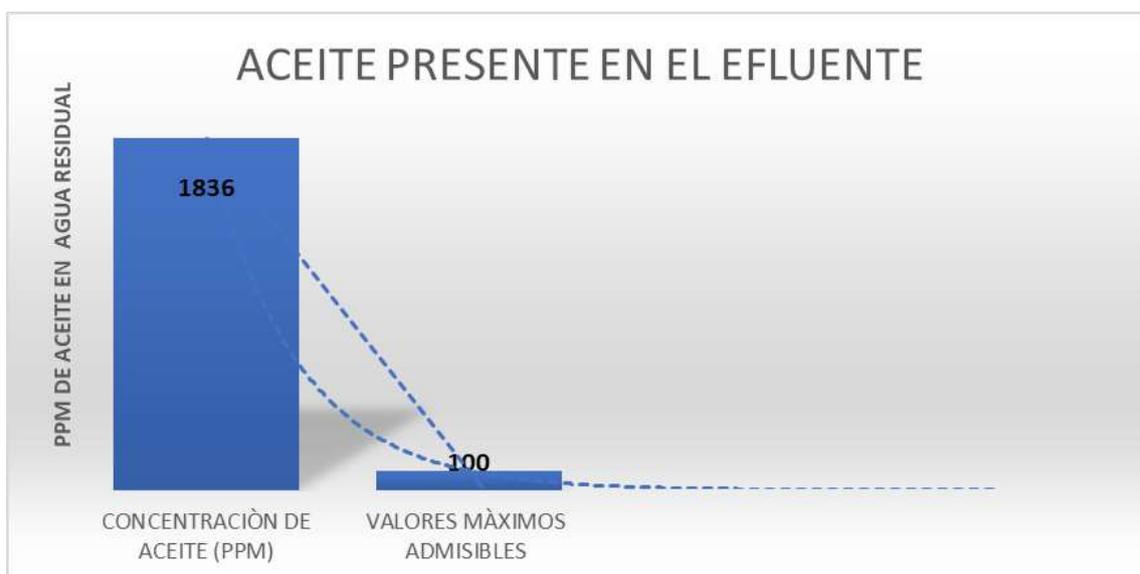


Figura 03. Concentración inicial de aceite en el efluente

Fuente: Elaboración propia.

Dado los resultados se observó que la concentración inicial de aceites en el agua contaminada es de 1836 mg / L, lo cual significa que existe 1836 mg de aceite por cada millón de gramos de agua, sobrepasando los valores máximos admisibles (VMA), establecidos en el D.S. N° 010 -2019- Ministerio de Vivienda y Construcción.

Así mismo se caracterizó el efluente contaminado, para poder comparar los resultados post tratamiento. En la siguiente tabla se muestran los resultados del análisis

Tabla 01. Caracterización del efluente

Parámetros Fisicoquímicos	Unidad	Resultados	Valores Máximos Admisibles
Aceites y Grasas	mg/L	1836	100
Conductividad	ms/cm	2.86	-
pH	-	6.73	6-9
Temperatura	°C	19.0	< 35°C

Fuente: Elaboración propia

Dado los resultados presentados en la tabla 01 podemos afirmar que , los datos presentan las características óptimas para poder realizar el tratamiento y poder comparar la eficiencia de remoción de aceite por electrocoagulación antes del tratamiento y después del tratamiento con las condiciones de operación a pH 7 y pH 8 y un tiempo de tratamiento de 30 , 40 y 50 minutos , buscando estar dentro los valores máximos admisibles establecidos por el D.S. N° 010 -2019- Ministerio de Vivienda y Construcción.

Si bien es cierto se aprecia que el pH está en un rango permitido según la ley peruana, para efectos del presente proyecto se modificó el pH hasta un rango de pH 8.

Con respecto a la conductividad se puede apreciar una conductividad de 2.86 ms/cm, la cual para efectos de la experimentación no resultaba óptima, por lo que se le agrego una concentración de 2g/l de (NaCl), para poder evitar la pasivación de los electrodos.

2: Construir la celda de Electrocoagulación de flujo continuo.

El material que utilizamos para la construcción y diseño de la celda de electrocoagulación fue acrílico con un espesor 4 mm ya que nos permitirá observar de una manera clara el proceso físico químico, por la cual pasará el agua contaminada que se presenta en el proceso y a comparación del vidrio muestra

más resistencia.

Para seleccionar el material de los electrodos se tuvo en cuenta la disponibilidad y accesibilidad al metal, por lo que se escogieron las placas de aluminio, además de que se encontró bibliografía que respalda los resultados obtenidos y efectivos con este material.

Las dimensiones de la EC fueron de 20 cm x 20 cm x 5 cm (ancho x largo x ancho) con la capacidad de un volumen de 5 L de capacidad para el agua tratada

A continuación, en la tabla 02 especificaciones técnicas de cada componente del sistema de la celda de electrocoagulación de flujo continuo se muestra las especificaciones de la EC.

Tabla 02. *Especificaciones técnicas de cada componente del sistema de la celda de electrocoagulación de flujo continuo*

Especificaciones técnicas del equipo de electrocoagulación		
Celda de electrocoagulación		
Medidas	Medidas (cm)	Unidad de medida
Ancho	20	cm
Largo	20	cm
Altura	5	cm
Volumen de la cuba de reacción	5	m ³
Material	Acrílico	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 03. Especificaciones de los electrodos

Especificaciones de los electrodos		
Dimensiones	Cantidad	Unidad
Espesor	3	mm
Ancho	4	cm
Largo	15	cm
Distancia entre los electrodos	1	cm
Diámetro del círculo de salida	3	cm
Cables de pinza de cocodrilo	1 N y1 R	-
Cátodos	19 placas de aluminio	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 04. Especificaciones de la fuente de alimentación

Especificaciones fuente de alimentación		
Medida	Cantidad	Unidad
Amperaje	0-8	A
Voltaje	30-280	V

Fuente: Elaboración propia

Se consideró una distribución volumétrica que contiene tres zonas, el criterio de separación de cada una de ellas está demarcado por los principales procesos:

Zona de reacción: zona donde se colocó los electrodos, y donde se llevó a cabo el proceso de electrocoagulación (9 cm del volumen de la celda)

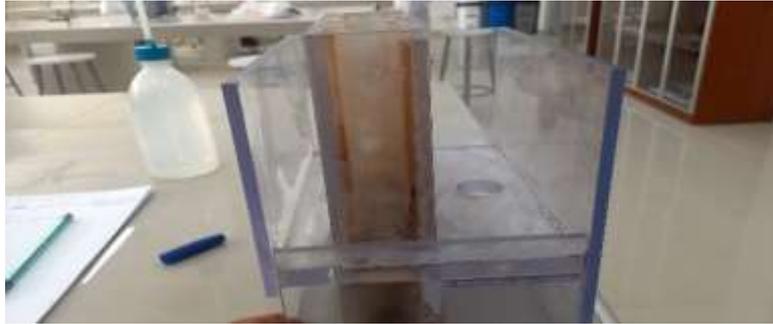


Figura 04. Zona de reacción

Fuente: Elaboración propia

Zona de Sedimentación: donde se produjo la sedimentación (zona del medio) de esta destinada para los electrodos y para la reacción (4 cm del volumen de la celda).

ZONA DE
SEDIMENTACIÓN

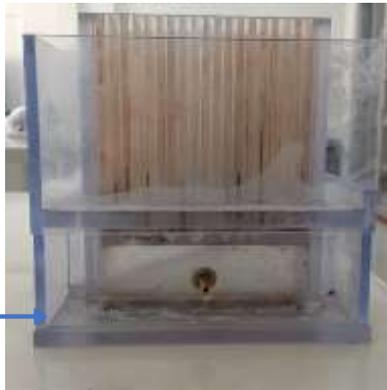


Figura 05. Zona de sedimentación

Fuente: Elaboración propia

Zona de Flotación: En esta zona (parte superior) se acumuló los lodos producto de la electrocoagulación (4 cm de volumen de la celda).

ZONA DE FLOTACIÓN

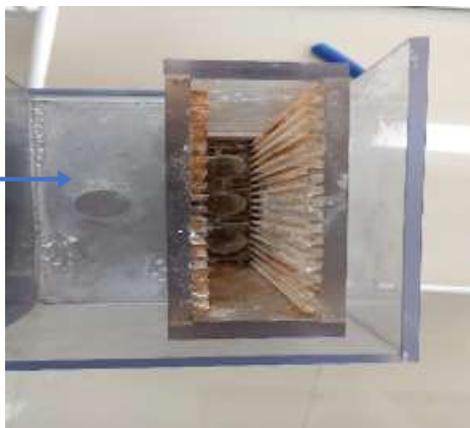


Figura 06. Zona de flotación

Fuente: Elaboración propia

3: Realizar el procedimiento de electrocoagulación a pH 7 y pH 8, con tiempo de operación de 30, 40 y 50 minutos. manteniendo las otras variables como constantes.

Se inició con la etapa del tratamiento en la celda de EC con el efluente contaminado por aceite. El primer bloque del procedimiento de electrocoagulación se realizó una vez ya la celda estaba armada y operativa; a continuación, se realizó el análisis de la temperatura inicial y el pH del efluente contaminado con aceite de soya.



Figura 06. Medición de temperatura 19 °C y pH 7

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se procedió a llenar la celda de EC a través de una bomba peristáltica la cual tiene una capacidad máxima de caudal de 10 ml/s y una manguera de silicona de 2m.



Figura 07. Medición de temperatura 19°C y pH 8.

Fuente: Elaboración propia



Figura 08. Llenado de la Celda de EC con caudal de 6 ml/s

Fuente: Elaboración propia

Es preciso mencionar que las variables constantes se mantuvieron fijas para garantizar la consistencia de los resultados, estas fueron: corriente eléctrica aplicada a los electrodos y la distancia entre cada placa de electrodo.

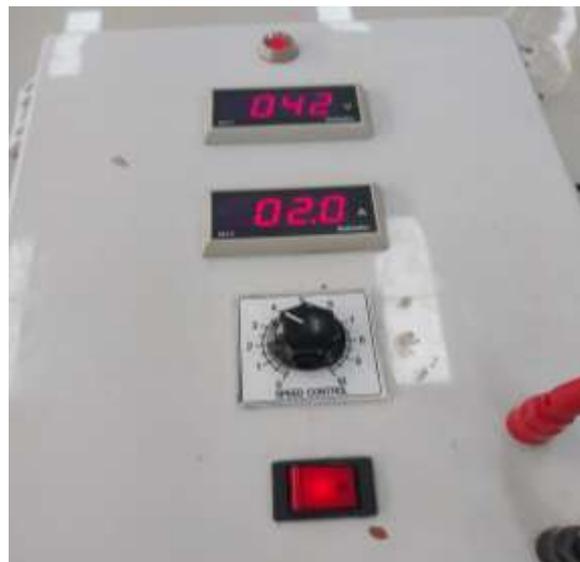


Figura.9. Corriente eléctrica Amperaje = 2 A/m² y Voltaje 42 V

Fuente: Elaboración propia



Figura 10. Distancia de 1cm entre cada placa

Fuente: Elaboración propia

El segundo bloque del proceso de EC, se realizaron tres tratamientos para pH 7 y tres tratamientos para pH 8, con el fin de obtener el resultado con el parámetro más óptimo para la remoción de aceites.

A continuación, se muestra la tabla 05 con las condiciones iniciales de operación realizados en el tratamiento de la celda.

Tabla 05. *Condiciones experimentales iniciales*

Muestra	pH	Tiempo de tratamiento	Densidad de Corriente (A)	Voltaje	Distancia entre electrodo
1	7	30	2A/m ²	42	1cm
2	7	40	2A/m ²	42	1cm
3	7	50	2A/m ²	42	1cm
4	8	30	2A/m ²	42	1cm
5	8	40	2A/m ²	42	1cm
6	8	50	2A/m ²	42	1cm

Fuente: Elaboración propia

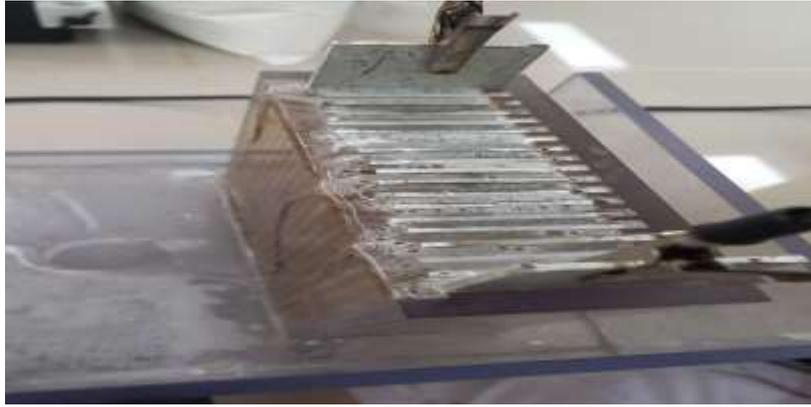


Figura 11. Inicio del Proceso de EC

Fuente: Elaboración propia

Durante el proceso de EC, se observó la presencia de burbujas y espuma, dando un indicador que el proceso se estaba realizando de manera correcta.



Figura 12. Generación de espuma en el transcurso del proceso de EC

Fuente: Elaboración propia



Figura 13. Final del tratamiento pH 7 a 40 minutos

Fuente: Elaboración propia



Figura 14. Final del tratamiento de pH 8 a 30 minutos

Fuente: Elaboración propia

Una vez culminado cada tratamiento, se procedió a desconectar el equipo y retirar las placas de aluminio con la finalidad de realizar la limpieza de la celda, y las placas en el caso de los electrodos se procedió a lavarlos con agua destilada. Todo este proceso se realizó para las 6 muestras establecidas en el objetivo.

4. Cuantificar la concentración de aceites posterior al tratamiento y compararlas con los valores máximos admisibles. En esta última fase experimental para determinar la concentración de aceite de soya en el efluente, una vez terminado el proceso de EC, se procedió a recoger la muestra en dos botellas de vidrio y esperar un tiempo de 30 minutos, para que los sólidos que se encuentren suspendidos puedan sedimentarse.



Figura 15. Muestras tomadas después del tratamiento de EC.

Fuente: Elaboración propia

Se procedió a realizar el filtrado al vacío, con la finalidad de capturar el aceite en la tierra diatomea y realizar la determinación de grasas y aceite a través del método de Soxhlet.



Figura 16. Filtrado del agua tratada

Fuente: Elaboración propia

Una vez terminado el proceso de filtración, se pesó las 6 muestras en una balanza analítica de precisión con la tierra diatomea para pasar a la extracción de aceites y grasas en el Soxhlet.

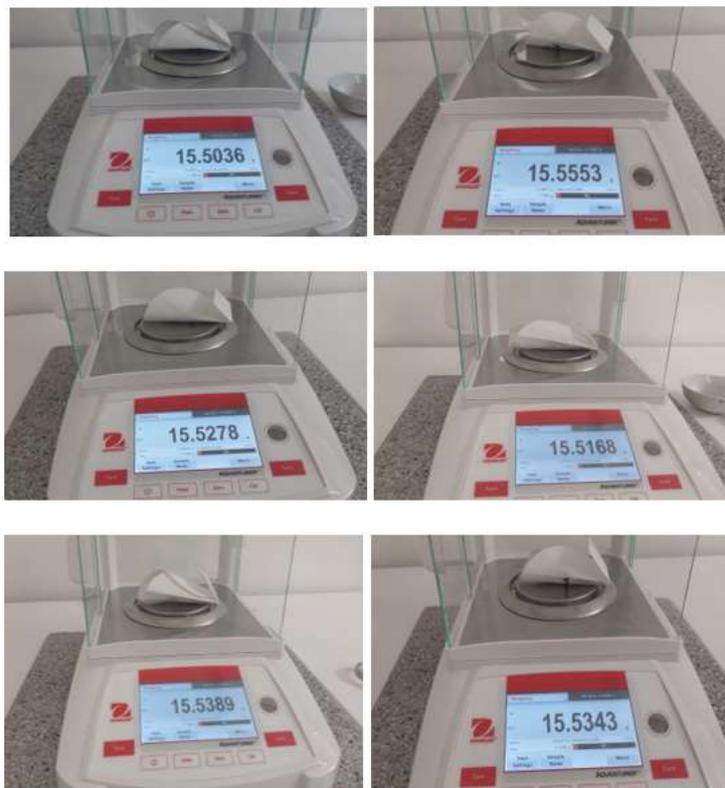


Figura 17. Tara de las muestras a pH 7 y pH 8, con tiempo de tratamiento de 30, 40 y 50 minutos

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se realizó el procesamiento de los resultados obtenidos por el laboratorio, los cuales se presentan en la tabla 06.

Tabla 06. Resultados de la concentración final de aceites

MUESTRA	pH	Tiempo de Tratamiento (min)	Densidad de corriente (A)	Grasas y Aceites (ppm)	Unidades (mg/L)
M1	7.0	30	2 A/m ²	22.44	mg/L
M2	7.0	40	2 A/m ²	7.00	mg/L
M3	7.0	50	2 A/m ²	48.34	mg/L
M4	8.0	30	2 A/m ²	28.22	mg/L
M5	8.0	40	2 A/m ²	75.80	mg/L
M6	8.0	50	2 A/m ²	78.42	mg/L

Fuente: Elaboración propia

Para garantizar la validez de estos resultados mostrados en la tabla anterior; el análisis fue realizado por un laboratorio acreditado. Durante 4 horas se realizó la extracción de aceite a través del método soxhlet, para su posterior cuantificación.

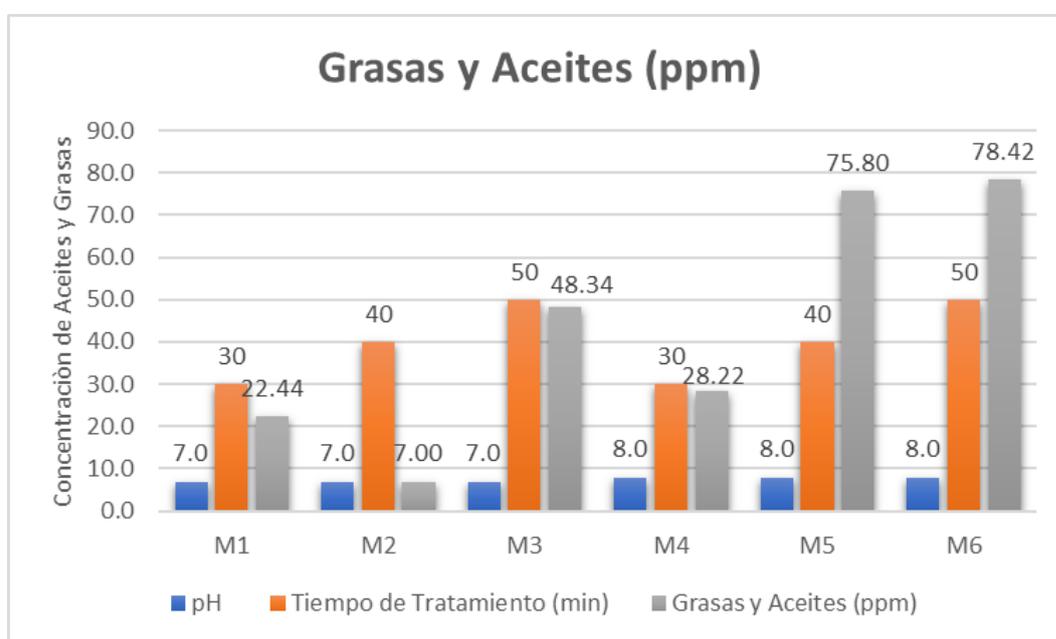


Figura 18. Concentración final de aceites y grasas

Fuente: Elaboración propia

Interpretación. Con la finalidad de poder dar cumplimiento a nuestro objetivo número 4 donde se pretende cuantificar la concentración de aceites posterior al

tratamiento y compararlos con los valores máximos admitidos por la legislación peruana, se puede apreciar que todas las muestras con el tratamiento de EC cumplen con los valores (VMA).

Tabla 07. *Valores máximos admisibles para grasas y aceites.*

PARAMETRO FISICO QUIMICO	MUESTRA	CONCENTRACION DE GRASAS Y ACEITE (ppm)	VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES (ppm)	ESTADO
Aceites y Grasas	M1	22.44	100	Cumple
Aceites y Grasas	M2	7	100	Cumple
Aceites y Grasas	M3	48.34	100	Cumple
Aceites y Grasas	M4	28.22	100	Cumple
Aceites y Grasas	M5	75.8	100	Cumple
Aceites y Grasas	M6	78.42	100	Cumple

Fuente: Elaboración propia

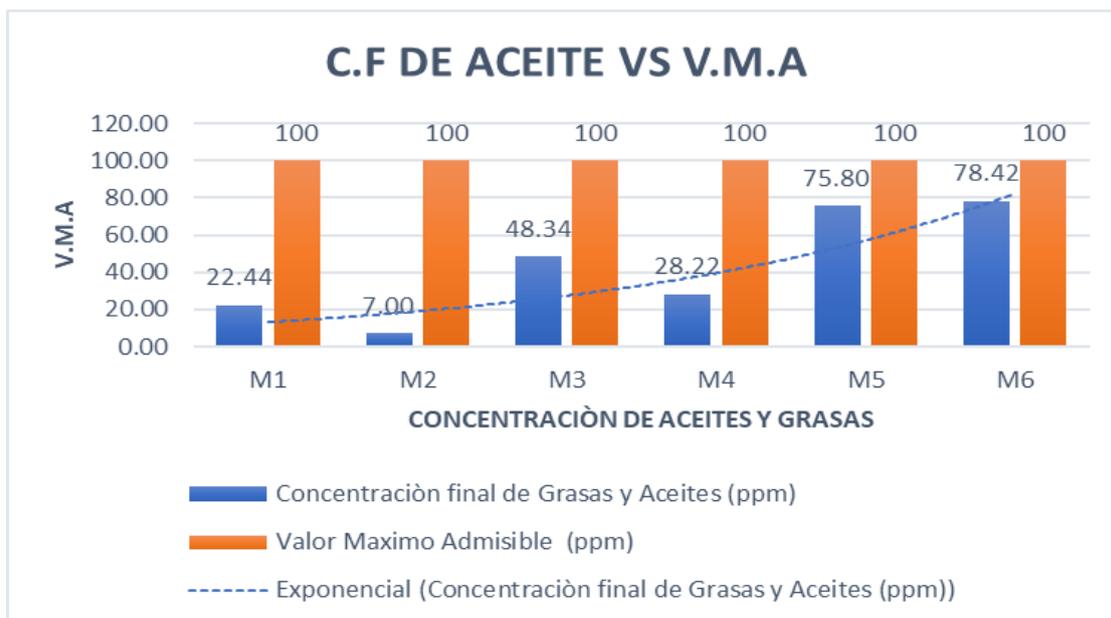


Figura 19. Comparación de los resultados finales de aceites y grasas respecto a los valores máximos admisibles.

Fuente: Elaboración Propia.

Interpretación. De acuerdo a los resultados obtenidos se puede observar que todas las muestras tratadas por EC están dentro de los valores establecidos en el D.S N° 010-2019-VIVIENDA, donde hace referencia que, el parámetro de aceites y grasas en aguas de origen no domiciliario no excederá las 100 ppm, en caso estos valores exceden estará sujeta a la suspensión temporal del servicio, suspensión definitiva del servicio, todo ello sujeto a la gravedad de la infracción.

Respecto a nuestro objetivo principal donde buscamos determinar la eficiencia de remoción de aceites en una celda de electrocoagulación de flujo continuo a escala de laboratorio. La eficiencia de la remoción del aceite estuvo relacionada a los factores de pH y tiempo de tratamiento en la celda de EC.

a) Comparativa 1.

Como se puede apreciar en la tabla 08, se trabajó con 3 tiempos a un rango de pH 7 este primer experimento presentó variables constantes como la distancia entre electrodos e intensidad de corriente.

Tabla 08. Porcentaje de remoción de aceite

pH	Tiempo de tratamiento (min)	Distancia entre electrodo (cm)	Densidad de corriente (A)	Voltaje (V)	Porcentaje de Remoción de Grasas y Aceites (%)
7	30	1	2A/m ²	40	98.78
7	40	1	2A/m ²	40	99.82
7	50	1	2A/m ²	40	97.36

Fuente: Elaboración Propia.

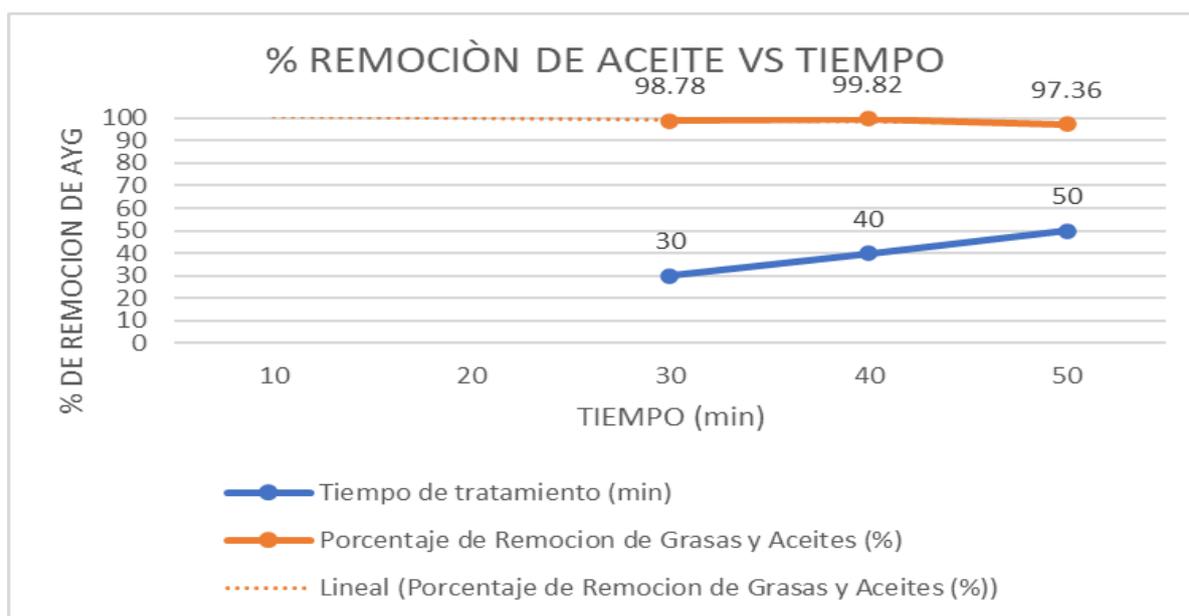


Figura 20. Porcentaje de remoción de A Y G en función al tiempo de tratamiento y pH 7

Fuente: Elaboración Propia.

Interpretación. En la figura 21 se muestra los resultados que se realizó al primer experimento que consistió en aplicar el tratamiento a tres muestras, a un tiempo de 30 minutos se obtuvo un porcentaje de 98.78%, a un tiempo de 40 minutos se obtuvo un porcentaje de 99.82 % y a un tiempo de 50 minutos se obtuvo un 97.36% de remoción de aceites del efluente.

b) Comparativa 2. Como se puede apreciar en la tabla 9, se trabajó con 3 tiempos a un rango de pH 8 este segundo experimento presentó variables constantes como la distancia entre electrodos e intensidad de corriente.

Tabla 09. Porcentaje de remoción de aceite

pH	Tiempo de tratamiento (min)	Distancia entre electrodo (cm)	Densidad de corriente (A)	Voltaje (V)	Porcentaje de Remoción de Grasas y Aceites (%)
8	30	1	2A/m2	40	98.53
8	40	1	2A/m2	40	95.87
8	50	1	2A/m2	40	95.73

Fuente: Elaboración Propia.

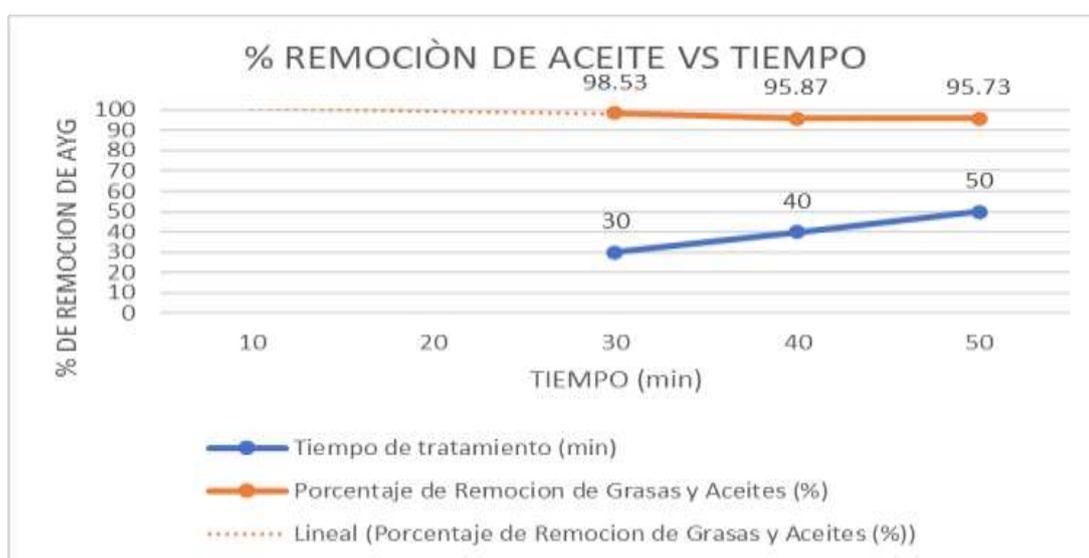


Figura 21. Porcentaje de remoción de A Y G en función al tiempo de tratamiento y pH 8.

Fuente: Elaboración Propia.

Interpretación. En la figura 22 se muestra los resultados que se realizó al segundo experimento que consistió en aplicar el tratamiento a tres muestras, a un tiempo de 30 minutos se obtuvo un porcentaje de 98.53%, a un tiempo de 40 minutos se obtuvo un porcentaje de 95.87 % y a un tiempo de 50 minutos se obtuvo un 95.73% de remoción de aceites del efluente.

Los datos observados dan un indicador que un tiempo óptimo para la remoción de aceite está en el rango de 40 minutos, ya que a partir del minuto 50 en el pH 7 se observa que la curva va decreciendo.



Figura 22. Comparación de la concentración inicial y concentración final de Aceites y Grasas.

Fuente: Elaboración Propia.

Interpretación: Con el propósito de dar cumplimiento al objetivo principal se realizó el proceso de electrocoagulación en una celda de EC a flujo continuo, para saber si dicho proceso es eficiente en la remoción de aceites de soya; por lo cual se experimentó con dos variaciones de pH 7 y 8, además de ello con tres tiempos 30, 40 y 50 minutos.

Una vez realizado el tratamiento se determinó que el tratamiento con las variables de pH 7 a un tiempo de operación de 40 minutos, presenta una remoción 99.82 %, por lo que la eficiencia del tratamiento de EC con una celda a flujo continuo se ha demostrado.

V. DISCUSIÓN

Sangal, Mishra y Kushwaha 2013 y Morante (2002), afirman que obtuvieron una remoción de aceites del 99% y 90%, coincidiendo en que el electrodo de Al, fue el más eficiente en la remoción de aceites en aguas residuales, además de ello, se tuvo en cuenta parámetros como el pH el cual estuvo en un rango óptimo de 7 y 10, además de 15 minutos de tratamiento. En nuestras pruebas se obtuvo el mayor porcentaje de remoción de aceites y grasas con un pH de 7 a un tiempo de 40 minutos.

En ambas investigaciones se usaron dos pH 7 coincidiendo en que a este pH se obtiene una mayor eficiencia de remoción. Esto debido a que este parámetro afecta la estabilidad de las emulsiones de aceite presentes en el agua., es decir pH influye en la capacidad del tratamiento para disolver los componentes de aceite.

En cuanto al tiempo de tratamiento Soto et al (2023), menciona que tuvo una eficiencia del 91% de eliminación de aceites con un tiempo de operación de 40 minutos a un pH de 8, agregando 2mg/L de una solución de NaCl, esto para poder aumentar la conductividad eléctrica, ya que la conductividad del medio es directamente proporcional al suministro energético, esto quiere decir que el voltaje requerido para llevar el proceso de EC dependerá de una buena conductividad eléctrica. Nosotros operamos con tres tiempos de tratamiento, donde el tiempo que presento una mayor remoción de aceites fue el de 40 minutos, esto se traduce a que el tiempo permite la formación de coágulos y floculantes los cuales son los encargados de atrapar los contaminantes. Sin embargo, es preciso mencionar que un tiempo excesivo puede producir un consumo mayor de energía y afectar la eficacia de la remoción de aceites.

Así mismo para poder aumentar la conductividad de nuestro medio usamos NaCl con una concentración de 2g/L, debido a que una conductividad de 2.86 ms/cm no producía la ionización del metal, por lo cual al aumentar a una conductividad de 4.70 ms/cm, se obtuvo dicha ionización, además de ello se requirió un menor voltaje a medida que la conductividad iba subiendo, esto debido a que esta es inversamente proporcional a la resistencia del equipo.

Arce et al. (2019), realizó el diseño y construcción de una celda de EC a flujo continuo con una capacidad de 50 L, usando electrodos de aluminio, con una densidad de corriente de 5 A/m^2 , obteniendo una remoción de 94 % en grasas y aceites. Por lo que se contrasta con nuestro tercer objetivo específico, donde también se realizó la construcción de un sistema a flujo continuo con una capacidad de 5 L y como electrodo se usó aluminio, debido a su bajo costo en el mercado y su alta efectividad para remover contaminantes en el medio contaminando. Pereira et al. (2019) nos menciona que un sistema de EC a flujo continuo es más efectivo que uno sistema batch, ya que el caudal favorece en la remoción de los contaminantes.

VI. CONCLUSIONES

1. Se concluyo con el objetivo general en la cual se realizó la comparación de las concentraciones antes de aplicar y el tratamiento y después de aplicarlo, con el fin de evaluar si es que la remoción de aceites usando una celda de EC a flujo continuo era efectiva. Al promediar todos los resultados obtenidos por el método Soxhlet se promedió los porcentajes y se obtuvo un 97.22% de remoción de aceites. Por lo cual se rechaza la hipótesis nula y aceptamos la alterna confirmando la eficacia para la remoción de aceites mediante este proceso de EC, teniendo en cuenta los parámetros de operación como el pH y el tiempo de tratamiento.
2. En concordancia con el primer objetivo específico, se concluyó que la concentración inicial de aceite de soya fue de 1836 mg/l, la cual está por encima de los Valores Máximos Admisibles la cual es de 100 mg/l
3. De acuerdo a nuestro segundo objetivo específico, se realizó la construcción de la celda de EC tipo continua, la cual tiene una capacidad de volumen de 4L, además de ello se seleccionó el material del electrodo (Al) con 19 placas, teniendo en cuenta una fuente de alimentación continua.
4. Respecto a nuestro tercer objetivo, se realizó el proceso de EC, con los parámetros de pH 7 y pH 8 con tiempos de operación de 30, 40 y 50 minutos obteniendo los siguientes resultados de efectividad: 98.78 %, 99.82%, 97.36%, 98.53 % 95.87%y 95.73%
5. Para culminar con nuestro cuarto objetivo, se concluye que la concentración final de cada muestra tratada fue de: 22.44 g/ml, 7 g/ml, 48.34 g/ml, 28.22 g/ml, 75.80 g/ml y 78.42 g/ml. Destacando la muestra dos, la cual fue operada con un pH de 7 y un tiempo de 40 minutos.

VII. RECOMENDACIONES

1. En el estudio se logró una tasa alta de remoción de aceites de soya del 97.68 %, la cual se promedió de los 6 resultados obtenidos, sin embargo, se recomienda que se pueda realizar una mayor una mayor cantidad de pruebas abarcando parámetros biológicos y metales pesados para probar la efectividad del tratamiento.
2. Estimar el deterioro de los electrodos de aluminio (peso y estado), ya que el desgaste de estos electrodos, son directamente proporcionales a la producción de coagulantes en el tratamiento.
3. En los tratamientos que se realizó se observó una gran cantidad de espumas, por lo cual se recomienda realizar un sistema automatizado de recojo de espuma para que no interfiera en el tratamiento del agua contaminada.
4. Realizar la construcción de la celda a una escala mayor, para abarcar una mayor cantidad de agua a tratar considerando el espesor de cada placa

REFERENCIAS

Abdulaziz A. Alhassan, Alyssa McCluskey, Anas Alfaris, and Kenneth Strzepek , Modelo regional de suministros y demanda de agua basado en escenarios : Arabia Saudita como estudio de caso. IJSD 7,46-51 [en línea], [fecha de consulta 09 de mayo 2023] Disponible en: [http://refhub.elsevier.com/S0045-6535\(22\)02239-1/sref2](http://refhub.elsevier.com/S0045-6535(22)02239-1/sref2).

AGUILAR, Edwar. Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua. Revista del Instituto de investigación de la Facultad de Minas, Metalurgia y ciencias geográficas, 2015, vol. 18, no 35. Disponible: https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/4303/Aguilar_ae.pdf?sequ

AGUILAR, F. Y PALOMINO, A. 2018. Evaluación de un Sistema de Electrocoagulación de Flujo Continuo para la Remoción de Cromo (VI) y DQO de Curtiembre-Huachipa-2018. Tesis para obtener el título profesional de ingeniero ambiental. Universidad César Vallejo. Lima, Perú. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/27948>.

Ahmed Abdulrhman Al-Othman, Parminder Kaur, Monzur A. Imteaz, Mahmoud Ezzeldin Hashem Ibrahim, Mika Sillanpää, Mohab Amin Mohamed Kamal, Modified bio-electrocoagulation system to treat the municipal wastewater for irrigation purposes, Chemosphere, Volume 307, Part 1, 2022, [en línea], fecha de consulta [09 de mayo 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135746>.

Ahmed, IA, Nosier, SA, Malash, GF et al. Remoción de Colorante Azo Amarillo Brillante de Aguas Residuales por Electrocoagulación en una Celda de Diseño Mejorado. Agua Aire Suelo Contaminación 234, 237 (2023). [en línea], [fecha de consulta 10, de mayo de 2023] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11270-023-06241-8>.

AN, C., HUANG, G., YAO, Y. y ZHAO, S., 2017. Emerging usage of electrocoagulation technology for oil removal from wastewater: A review. Science of The Total Environment, vol. 579, ISSN 0048-9697. DOI

10.1016/j.scitotenv.2016.11.062. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.062>.

ARANGO RUIZ, Á., 2012. Efectos del pH y la conductividad en la electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea. Producción + Limpia, vol. 7, no. 1, ISSN 1909-0455.

ARANGO RUIZ, Álvaro; GARCÉS GIRALDO, Luis Fernando. Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea. Revista Universidad EAFIT, 2007, vol. 43, no 147, p. 56-67. Disponible en:
<http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/764/672>

ARCE HUAMANI, Franklin; CRUZ CHIROQUE, Iván Anthony. Tratamiento del efluente industrial de una planta de beneficio de reses, mediante el Método de Electrocoagulación de flujo a escala piloto. 2019.. [Consultado 22 de noviembre]

BARBOZA QUISPE, R. y VEGA ROBLES, BW, 2020. Revisión sistemática: aplicación de coagulantes naturales para el tratamiento de aguas contaminadas. SL: Universidad César Vallejo. Disponible en:

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/60824>

Bravo, C. Osorno, C y Salgado, E. (2016), Propuesta de un tratamiento para aceites y grasas de las aguas residuales de la microempresa "Productos Verdes" Laboratorio de biotecnología, UNAM - Managua, Marzo - Julio. Disponible en:
<http://repositorio.unan.edu.ni/3504/1/61591.pdf>

BRAVO, C.; OSORNO, C.; SALGADO, E. Propuesta de un tratamiento para aceites y grasas de las aguas residuales de la microempresa "Productos Verdes" laboratorio de biotecnología, UNAN–Managua, marzo—Julio 2016. Seminario de graduación para optar al título de, 2016. Disponible en:
<https://repositorio.unan.edu.ni/3504/1/61591.pdf>

CAMPBELL -STANLEY -disec3b1os-experimentales-y-cuasiexperimentales-en-la-investigac3b3n-social.pdf [en línea], [1979]. S.l.: s.n. [consulta: 20 noviembre 2023]. Disponible en: <https://knowledgesociety.usal.es/sites/default/files/campbell-stanley-disec3b1os-experimentales-y-cuasiexperimentales-en-la-investigac3b3n->

[social.pdf](#)

CANAL, G. y UBIERNA, G., 2017. ACEITES USADOS DE COCINA. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL, INCIDENCIAS EN REDES DE SANEAMIENTO Y COSTE DEL TRATAMIENTO EN DEPURADORAS. [en línea, [consulta 11 de junio 2023] Disponible en:

<https://www.residusmunicipals.cat/uploads/activitats/docs/20170427092548.pdf>.

CATALINA, S., ARAGÓN, A., SEBASTIÁN, J. y GARAY, G., [sin fecha]. Análisis del electro análisis de la electrocoagulación como tecnología eficiente para coagulación como tecnología eficiente para a el tratamiento el tratamiento de aguas o de aguas residuales de una industria textil residuales de una industria textil. Edu.co [en línea]. [consulta: 11 mayo 2023]. Disponible en: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1032&context=ing_ambiental_sanitaria.

CRUZ CHIROQUE, Iván Anthony; ARCE HUAMANI, Franklin. Tratamiento del efluente industrial de una planta de beneficio de reses, mediante el Método de Electrocoagulación de flujo a escala piloto. [Consultado 22 de noviembre]

DE INGENIERÍA AMBIENTAL, EP, [sin fecha]. FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA. Edu.pe [en línea]. [consulta: 12 mayo 2023]. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/60351/Lasteros_PI-Mejia_QE-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Disponible en <https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/4493/TESIS-%20IVAN%20CRUZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Electrocoagulation with polarity switch for fast oil removal from oil in water emulsions, Journal of Environmental Management, Volume 213,2018, Pages119-125, ISSN0301-4797

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.01.069>.

GAY, L.R., MILLS, G.E. y AIRASIAN, P.W., 2012. Educational research: competencias for analysis and applications. 10th ed. Boston: Pearson. ISBN 978-0-13-261317-0. LB1028. G37 2012. Disponible en: <https://yuli>

elearning.com/pluginfile.php/4831/mod_resource/content/1/Gay-E%20Book%20Educational%20Research-2012.pdf

GOBBI, L.C.A., NASCIMENTO, I.L., MUNIZ, E.P., ROCHA, S.M.S. y PORTO, P.S.S., 2018. Electrocoagulation with polarity switch for fast oil removal from oil in water emulsions. *Journal of Environmental Management* [en línea], vol. 213, [consulta: 19 junio 2023]. ISSN 0301-4797. DOI 10.1016/j.jenvman.2018.01.069. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479718300793>. GOBBI, L.C.A., NASCIMENTO, I.L., MUNIZ, E.P., ROCHA, S.M.S. y PORTO, P.S.S., 2018. Electrocoagulation with polarity switch for fast oil removal from oil in water emulsions. *Journal of Environmental Management*, vol. 213, ISSN 0301-4797. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.01.069>.

GÓMEZ-BIEDMA, S., SORIA, E. y VIVÓ, M., 2002. Análisis electroquímico. *Revista de Diagnóstico Biológico* [en línea], vol. 51, no. 1, [consulta: 20 noviembre 2023]. ISSN 0034-7973.

Disponible en: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0034-79732002000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

HERRERO, A.F., [2008]. Los problemas económicos de la gestión del agua en los países pobres. [en línea], [fecha de consulta 05 de noviembre 2023]. Disponible en: https://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/cajaAzul/13S3-P3-Alberto_FraguasACC.pdf

Instituto Nacional de Estadística e Informática. [en línea], [sin fecha]. [consulta: 6 noviembre 2023]. Disponible en: <https://m.inei.gob.pe/prensa/noticias/negocios-de-restaurantes-se-incrementaron-916-en-abril-de-2023-14439/>.

INTER-AMERICAN DEVELOPMENT BANK y COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL), 2018.

JI, M., JIANG, X. y WANG, F., 2015. A mechanistic approach and response surface optimization of the removal of oil and grease from restaurant wastewater by electrocoagulation and electroflotation. *Desalination and Water Treatment* [en línea], vol. 55, no. 8, [consulta: 14 noviembre 2023]. ISSN 1944-3994. DOI 10.1080/19443994.2014.929034.

Disponible en: <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.929034>.

JIANG, J.-Q., GRAHAM, N., ANDRÉ, C., KELSALL, G.H. y BRANDON, N., 2002. Laboratory study of electro-coagulation-flotation for water treatment. *Water Research*, vol. 36, no. 16, ISSN 0043-1354. DOI 10.1016/s0043-1354(02)00118-5. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12405415/>

LÓPEZ, Dania M^a Orellana; GÓMEZ, M^a Cruz Sánchez. Técnicas de recolección de datos en entornos virtuales más usadas en la investigación cualitativa. *Revista de investigación educativa*, 2006, vol. 24, no 1, p. 205-222. Disponible en: <https://revistas.um.es/rie/article/view/97661/93701>

LOZADA, J., 2014. Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria. *CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica* [en línea], vol. 3, no. 1, [consulta: 19 noviembre 2023]. ISSN 1390-9592.

Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6163749>.

LY, Carla Tamayo; SIESQUÉN, Irene Silva. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos. 2012. [Consultado 22 de noviembre]. Disponible en: <https://www.postgradoune.edu.pe/pdf/documentos-academicos/ciencias-de-la-educacion/23.pdf>

MAURICIO ZAPATA OSORIO, [2022]. Evaluación de alternativas de mejora para la determinación de grasas y aceites en aguas residuales con el método de extracción Soxhlet SM 5520 D utilizando n-hexano como solvente., Disponible en: https://bibliotecadigital.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/28741/1/BetinManuela_2022_DeterminacionGrasasAceites.pdf

MELLY, J.A.C. y USHÑAHUA, L.E.Q., 2022. Efecto del flujo de carga durante el tratamiento por electrocoagulación en aguas residuales lácteas. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas* [en línea], vol. 25, no. 50, [consulta: 18 noviembre 2023]. ISSN 1682-3087. DOI 10.15381/iigeo.v25i50.24247.

Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/24247>.

MORALES QUEVEDO _qs.pdf [en línea], [2017]. S.l.: s.n. [consulta: 18 noviembre 2023]. “Remoción de aceites y grasas de un efluente industrial del sector lácteo por electrocoagulación con electrodos de aluminio” Disponible en: https://repositorio.uni.edu.pe/bitstream/20.500.14076/16416/1/morales_qs.pdf.

MORALES, P. 2015. Tratamiento de agua residual de biodiésel por electrocoagulación. Tesis para obtener el título de ingeniero químico petrolero. Instituto Politécnico Nacional. México.

Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/18232/25-1-16843.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

MORANTE, G., 2002. ELECTROCOAGULACIÓN DE AGUAS RESIDUALES. [en línea]. S.l.: s.n., [consulta: 15 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/ELECTROCOAGULACION-DE-AGUAS-RESIDUALES-Morante/0de52c5311ae4b0092c6fc605d70cbf75c2c7021>.

NAVARRO, F. Martínez. Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional. Ingeniería Química, trabajo de grado, Universidad de Castilla-La Mancha, Ciudad Real (España), 2007.

Disponible en: https://sistemamid.com.ar/panel/uploads/biblioteca/2017-08-05_03-33-52141796.pdf

Piña-Soberanis, M., Martín-Domínguez, A., González-Ramírez, CA, Prieto-García, F., Guevara-Lara, A., García-Espinoza JE. REVISIÓN DE VARIABLES DE DISEÑO Y CONDICIONES DE OPERACIÓN EN LA ELECTROCOAGULACIÓN. Revista Mexicana de Ingeniería Química [en línea]. 2011, 10(2), 257-271 [fecha de Consulta 15 de noviembre de 2023]. ISSN: 1665-2738. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62020825009>.

REÁTEGUI-ROMERO, W., MORALES-QUEVEDO, S.E., HUANCA-COLOS, K.W., FIGUEROA-GÓMEZ, N.M., KING-SANTOS, M.E., ZALDIVAR-ALVAREZ, W.F., FLORES-DEL PINO, L.V., YULI-POSADAS, R.A. y BULEGE-GUTIÉRREZ, W., 2020. Effect of current density on COD removal efficiency for wastewater using the electrocoagulation process. DESALINATION AND WATER TREATMENT, vol. 184, Disponible en: <https://doi.org/10.5004/dwt.2020.25341>.

ROMERO, Alberto. Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y Principios de Diseño. 3ra ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 1999[en línea] , [fecha de consulta 14 de noviembre 2023]. Disponible en: [: http://172pp.ISBN: 958-8060-13.3..](http://172pp.ISBN: 958-8060-13.3..)

RUIZ, Á.A., 2005. La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. Revista Lasallista de Investigación [en línea], vol. 2, no. 1, [consulta: 14 noviembre 2023]. ISSN 1794-4449, Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69520109>.

Saad, M.S., Wirzal, M.D.H., Putra, Z.A. Review on current approach for treatment of palm oil mill effluent: Integrated system (2021) Journal of Environmental Management, 286, art. no. 112209, Disponible en: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85101059567&doi=10.1016%2fj.jenvman.2021.112209&partnerID=40&m_10.1016/j.jenvman.2021.112209 DOI: [10.1016/j.jenvman.2021.112209](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112209)

SANGAL, V.K., MISHRA, I.M. y KUSHWAHA, J.P., 2013. Electrocoagulation of Soluble Oil Wastewater: Parametric and Kinetic Study. En: Web of Science ID: WOS:000316658400009, SEPARATION SCIENCE AND TECHNOLOGY [en línea], vol. 48, no. 7, [consulta: 24 septiembre 2023]. ISSN 0149-6395. DOI 10.1080/01496395.2012.719985.

Disponible en: [:DOI - 10.1080/01496395.2012.719985](https://doi.org/10.1080/01496395.2012.719985)

SOTO-VÁZQUEZ, A., et al. Electrocoagulation as a possible treatment for wastewater polluted with industrial lubricant oils La electrocoagulación como posible tratamiento para aguas residuales contaminadas con aceites lubricantes industriales. Disponible en: <http://rmiq.org/iqfvp/Numbers/V22/No2/IA2313.pdf>.

SOTO-VÁZQUEZ, A., et al. Electrocoagulation as a possible treatment for wastewater polluted with industrial lubricant oils La electrocoagulación como posible tratamiento para aguas residuales contaminadas con aceites lubricantes industriales. Disponible en: [_ http://rmiq.org/iqfvp/Numbers/V22/No2/IA2313.pdf](http://rmiq.org/iqfvp/Numbers/V22/No2/IA2313.pdf).

ANEXOS

Anexo 1. Operacionalización de variables.

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala/Niveles de medición
REMOCIÓN DE ACEITES EN AGUA	La presencia de aceite en el agua se atribuye a todas sustancias de naturaleza lipídica, que, al ser inmiscibles con el agua, van a permanecer en la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas. Estas natas y espumas entorpecen cualquier tipo de tratamiento físico o químico, por lo que deben eliminarse en los primeros pasos del tratamiento de un agua residual Bravo et al (2016).; la remoción de este contaminante se refiere al proceso de desestabilizar las partículas de aceite coloidal mediante la aplicación de corriente, dichas partículas desestabilizadas flotan en el hidróxido metálico, llegando a la superficie en donde pueden ser removido con facilidad. Ruiz (2005)	La concentración de aceite se determina a través del método soxhlet, este método inicia con la filtración de la muestra realizada por un procedimiento al vacío, la cual es una técnica de separación de mezclas sólido-líquido. La mezcla se introduce en un embudo plano con el papel de filtro acoplado al fondo. Desde el fondo del embudo se aplica con una bomba un vacío que succiona la mezcla, quedando el sólido atrapado entre los poros del filtro, el resto de la mezcla atraviesa el filtro de 11 cm de diámetro cuantitativo (Whatman N.º 40 o equivalente) y queda depositada en el fondo del recipiente. Osorio (2022)		Concentración de aceite presente en el agua contaminada	Razón
ELECTROCOAGULACIÓN	Lacasa et al. (2011) y Romero (2015), mencionan que la Electrocoagulación es un proceso en el cual se desestabiliza las partículas de contaminantes que se encuentran en el medio acuoso; mediante la aplicación de corriente se produce un coagulante debido a la oxidación del ánodo (electrodo de sacrificio), Ruiz (2005), menciona que en el cátodo se produce la liberación de burbujas de hidrógeno en estado gaseoso, la cual potencian la flotación de sustancias floculadas.	Mediante el uso de una celda de electrocoagulación de flujo continuo, la cual está compuesta por 19 electrodos de aluminio, con una distancia de 1cm entre cada placa y una configuración bipolar de electrodos. La corriente eléctrica se aplica de manera constante a 2 A/m ² ; se medirá la eficiencia de la EC en términos de la remoción de aceites presentes en el agua, expresada en porcentaje de remoción, con la siguiente fórmula.	pH Tiempo de tratamiento		Intervalo Razón

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2. Instrumento de recolección de datos



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
UNIDAD DE SERVICIOS TÉCNICOS



REPORTE DE ANÁLISIS N° 72 – 2023 – FIQIA

1. CLIENTE : Palacios Vásquez Abner Arlinson
Talledo Puestas Narumi Nayelli
2. TESIS : Eliminación de aceites en aguas por electrocoagulación.

1. DATOS DE LA MUESTRA

- Número de muestras : 02
- Fecha de muestreo : 20/11/2023

2. RESULTADOS DE ANÁLISIS FISIQUÍMICO

MUESTRA	pH	TIEMPO DE TRATAMIENTO (min)	GRASAS Y ACEITES	UNIDADES
M1	7.0	30	22.44	mg/L
M2	7.0	40	7.00	mg/L
M3	7.0	50	48.34	mg/L
M4	8.0	30	28.22	mg/L
M5	8.0	40	75.80	mg/L
M6	8.0	50	78.42	mg/L

3. CONCLUSIONES

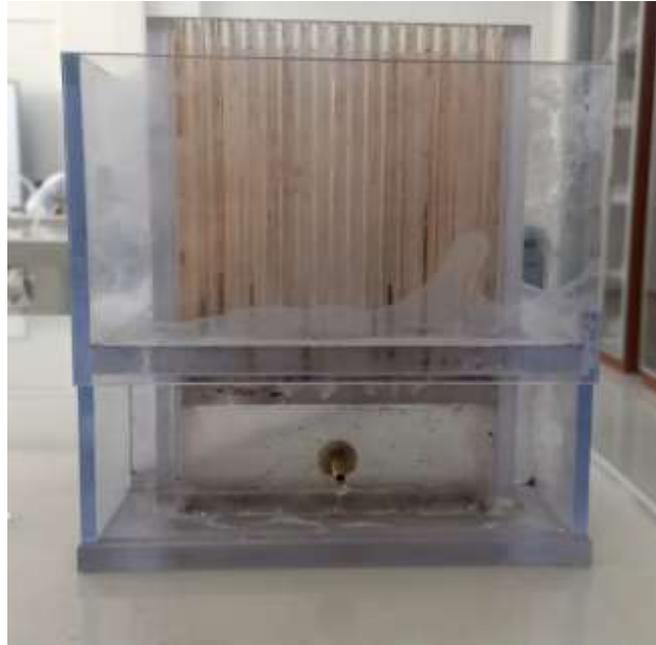
Los resultados obtenidos fueron realizados en el Laboratorio de Investigación y Servicios Técnicos de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, siguiendo estrictos estándares de calidad.

Los análisis fueron realizados siguiendo el método de soxhlet.

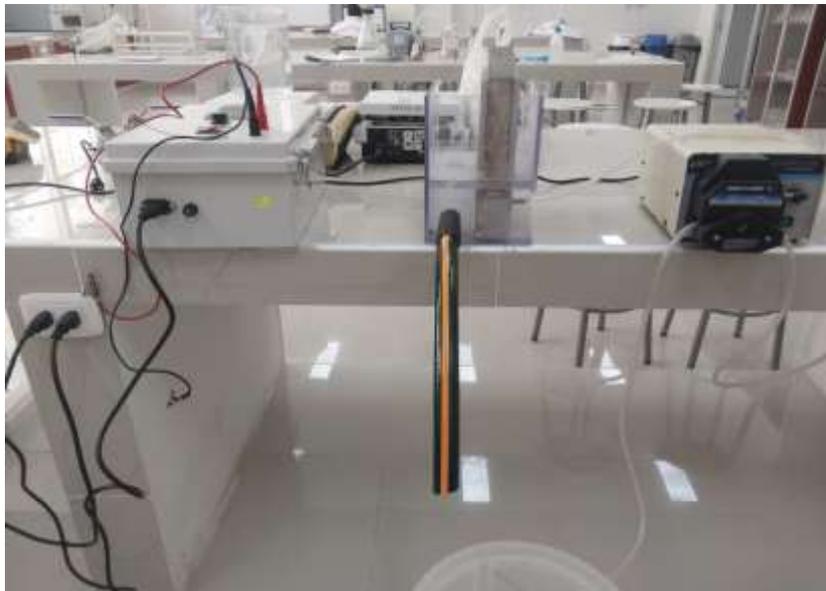
Firma		Firma	
Analista	Ing. Cristian David Visconde Beltrán CIP 111173	V°B°	Dr. César Augusto Monteza Arbulú
Fecha del Análisis	22 de Noviembre del 2023		

Anexo 4. Registro fotográfico

Panel Fotográfico



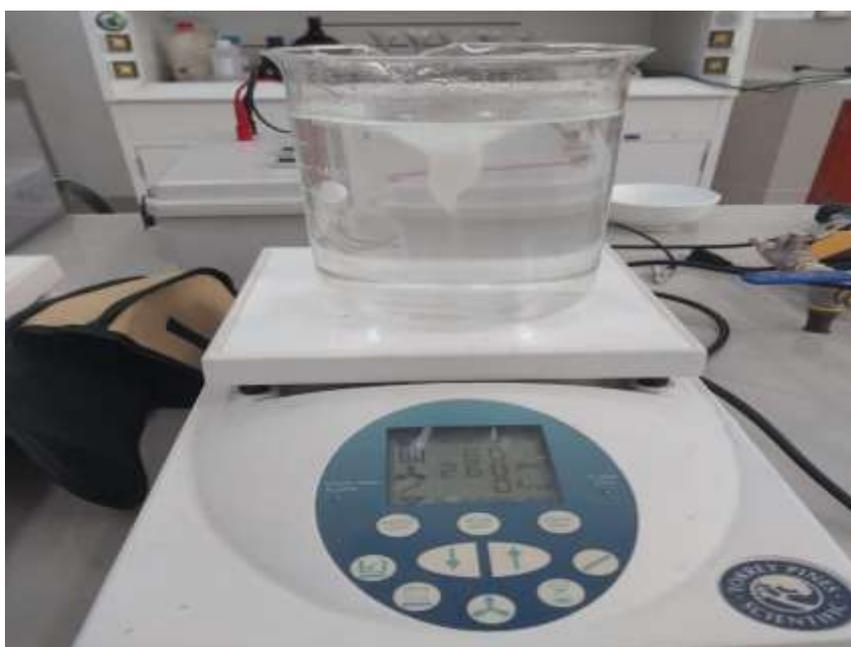
Construcción de la celda de EC



Prueba de la celda de electrocoagulación de flujo continuo



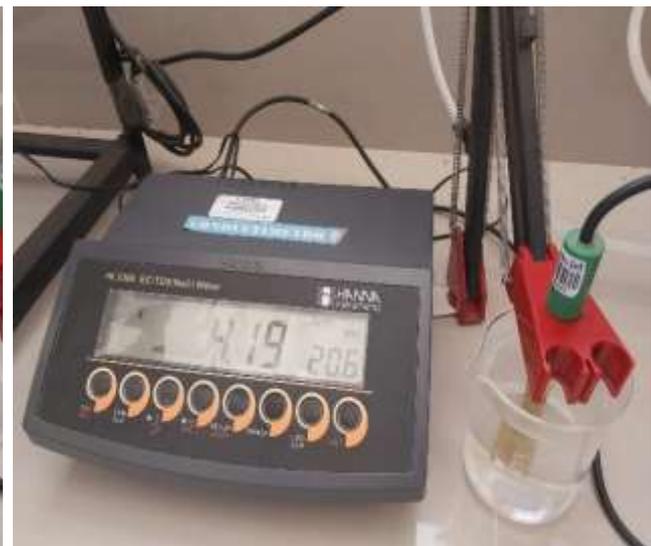
Contaminación del efluente con aceite



Homogenización



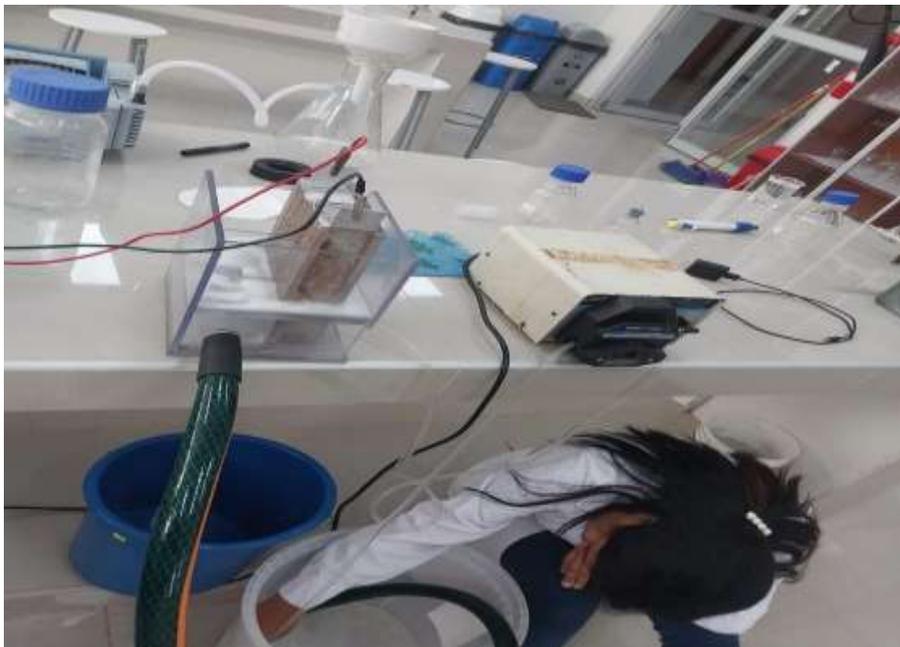
Medición del pH7 y pH8



Medición de la conductividad post tratamiento



Medición de la temperatura antes del tratamiento



Circuito del flujo continuo



Filtración al vacío de agua tratada



Balanza analítica de precisión con la tierra diatomea para tarar las muestras y proceder a realizar la cuantificación de aceite por el método soxhlet



Cuantificación de concentración de aceites con el método de sothlex



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, MONTEZA ARBULÚ CÉSAR AUGUSTO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, asesor de Tesis titulada: "Eliminación de aceites en agua mediante electrocoagulación", cuyos autores son TALLEDO PUESCAS NARUMI NAYELLY, PALACIOS VÁSQUEZ ABNER ARLINSON, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 19.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

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

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

CHICLAYO, 16 de Noviembre del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
MONTEZA ARBULÚ CÉSAR AUGUSTO DNI: 16681280 ORCID: 0000-0003-2052-6707	Firmado electrónicamente por: MARBULUCA el 17- 11-2023 12:32:14

Código documento Trilce: TRI - 0654891