



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Eficiencia de la electrocoagulación para tratar materia orgánica en  
agua residual de la extracción de aceite de palma, San Martín 2021**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTORES:**

Macedo Saldaña, Carmen Raquel (ORCID:0000-0003-2706-9019)

Zavala Aquino, Boris Nicolae (ORCID:0000-0002-3299-8974)

**ASESOR:**

MSc. Ordóñez Sánchez, Luis Alberto (ORCID: 0000-0003-3860-4224)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Calidad y gestión de los recursos naturales

TARAPOTO - PERÚ

2021

## **Dedicatoria**

*A Dios por darme la vida y ser mi apoyo incondicional todo el tiempo, a mí Madre Eugenia Sabina Aquino Yaringaño, por su inmenso amor, por las oraciones diarias a lo largo de mi travesía.*

**Zavala Aquino, Boris Nicolae**

*A Dios por permitirme culminar exitosamente  
mi carrera profesional,  
Agradecer a mis padres James Macedo García y  
Norma Saldaña Torres por el apoyo incondicional  
para lograr este objetivo que estuvieron apoyándome  
en todo momento.*

**Macedo Saldaña, Carmen Raquel**

## **Agradecimiento**

Expresamos nuestra gratitud a Dios por todas sus bendiciones que ha permitido concluir con nuestra carrea anhelada y por protegernos de esta pandemia con su manto misericordioso. Padre te pedimos que sigas guiando nuestros caminos

A nuestros queridos padres por su eterna gratitud, amor, confianza y sus esfuerzos contra viento y marea para lograr concluir con la Tesis que nos permitirá el grado profesional.

A la Universidad Cesar Vallejo por darnos acceso vía la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Ambiental, nos permitió cumplir con nuestros objetivos trazados.

Al Msc. Ing. Luis Alberto Ordoñez Sánchez- Asesor de Tesis de la UCV por su valiosa asistencia en la formulación y desarrollo de la tesis.

Al Bgo. Henry Giovani Jave Concepción - Coasesor, por su valiosa orientación en el desarrollo de la tesis.

A la Ing. Arturo Hoyos Cárdenas – Gerente de OLPESA S.A. por facilitarnos el acceso a su representada.

A todos los profesionales que contribuyeron en el desarrollo de la presente investigación.

## Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
I. INTRODUCCIÓN	9
II. MARCO TEÓRICO	12
III. METODOLOGÍA	20
3.1. Tipo y diseño de investigación	20
3.2. Variables y operacionalización	20
3.3. Población, muestra y muestreo	22
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	23
3.5. Procedimiento	24
3.6. Método de análisis de datos	27
3.7. Aspectos éticos	27
IV. RESULTADOS	28
V. DISCUSIÓN	36
VI. CONCLUSIONES	39
VII. RECOMENDACIONES	41
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS	42
ANEXOS	46

## Índice de tablas

Tabla 1 Esquema general del diseño experimental .....	20
Tabla 3 Concentración de materia orgánica en el agua residual industrial de la extracción de aceite de palma aceitera .....	28
Tabla 4 Tiempo de retención hidráulica (TRH) ensayada en la aplicación de la electrocoagulación para tratar el agua residual procedente de aceite de palma	29
Tabla 5 Concentración de la materia orgánica en el agua residual industrial de la extracción de aceite de palma en función de aceites y grasas post la aplicación de electrocoagulación.....	30
Tabla 6 Concentración de la materia orgánica en el agua residual industrial de la extracción de aceite de palma en función de la DBO post la aplicación de electrocoagulación	30
Tabla 7 Concentración de la materia orgánica en el agua residual industrial de la extracción de aceite de palma en función de la DQO post la aplicación de electrocoagulación	31
Tabla 8 Eficiencia de eletro-coagulación mediante electrodos de aluminio para remover la materia orgánica en efluente de procesamiento de palma aceitera, OLPEsa, Tocache, 2021 .....	32
Tabla 9 Eficiencia de eletro-coagulación mediante electrodos de cobre para remover la materia orgánica en efluente de procesamiento de palma aceitera, OLPEsa, Tocache, 2021 .....	33
Tabla 10 Evolución de efectos de la electrocoagulación de materia orgánica de agua residual de la extracción de aceite de palma, con electrodos de aluminio, en función al voltaje y el tiempo, en OLPEsa, Tocache, 2021 .....	34
Tabla 11 Evolución de efectos de la electrocoagulación de materia orgánica de agua residual de la extracción de aceite de palma, con electrodos de cobre, en función al voltaje y el tiempo, en OLPEsa, Tocache, 2021 .....	35

## Índice de figuras

Figura 1 <i>Prototipo del sistema de electrocoagulación</i> .....	25
---	----

## Resumen

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la eficiencia de la electrocoagulación para tratar la materia orgánica en el agua residual de la extracción de aceite de palma. El tipo de investigación según su carácter, corresponde al tipo correlacional y según naturaleza es cuantitativa, el instrumento utilizado fue el pre-test y post-test, la población estuvo conformada por 200 m<sup>3</sup> de agua residual industrial de la extracción de aceite de palma aceitera y la muestra la constituyeron un total de 40 litros del agua en mención. Se evaluó la concentración de la materia orgánica, en función a los parámetros aceites y grasas, Demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno, mediante la aplicación de electrodos de aluminio y cobre con tiempos de retención hidráulica variables entre 40 y 60 minutos y voltaje de 12 y 24V, obteniéndose que mediante la utilización de electrodos de cobre se logró una tratabilidad de 94% para la conductividad eléctrica, 94% de la DBO, 97 % de la DQO, 92 % de STS y un 90% la turbiedad; y, mediante electrodos de cobre para tratar la conductividad eléctrica se alcanzó un 81%, 94% de la DBO, 97% de la DQO y 91% de STS.

**Palabras clave:** eficiencia, electrocoagulación, materia orgánica, voltaje.

## **Abstract**

The objective of this research was to evaluate the efficiency of electrocoagulation to treat organic matter in wastewater from palm oil extraction. The type of research according to its character, corresponds to the correlational type and according to its nature it is quantitative, the instrument used was the pre-test and post-test, the population consisted of 200 m<sup>3</sup> of industrial wastewater from the extraction of oil palm oil and the sample was made up of a total of 40 liters of the water in question. The concentration of organic matter was evaluated, based on the parameters oils and fats, Biochemical Oxygen Demand and Chemical Oxygen Demand, by applying aluminum and copper electrodes with variable hydraulic retention times between 40 and 60 minutes and voltage of 12 and 24V, obtaining that by using copper electrodes a treatability of 94% was achieved for electrical conductivity, 94% for BOD, 97% for COD, 92% for STS and 90% for turbidity; and, using copper electrodes to treat electrical conductivity, 81%, 94% of BOD, 97% of COD and 91% of STS were achieved.

**Keywords:** efficiency, electrocoagulation, ,organic matter, voltage.



## I. INTRODUCCIÓN

Según Kılıç (2020), considera que el agua es un recurso vital para satisfacer las necesidades humanas y los procesos industriales; pero debido a diversos factores su gestión es vital, por lo que los países deben implantar medidas para su gestión y control; ya que, el crecimiento poblacional y la competencia por el elemento ejercen una presión que dejan cantidades insuficientes y que ponen en riesgo el caudal ecológico para mantener los ecosistemas. Según el Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas (WWAP, 2017, p. 121), indica que, la disponibilidad del agua está relacionada con su calidad. El vertimiento de las aguas residuales sin tratamiento o tratamiento inadecuado pondrían en riesgo la supervivencia de muchas especies y la salud de otras. Se cree que, los países de altos ingresos, tratarían un 70% de sus aguas residuales; cayendo hasta un 38.5% en los de ingresos medios-altos, hasta un 27.5% en los de ingresos medios-bajos y hasta un 7.5% en los de ingresos bajos. Según el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA, 2017, p. 97), menciona que, en los últimos años, América Latina, tiene problemas de abastecimiento del agua; debido a diversos factores, tales como la escasez de fuentes de abastecimiento seguras o el uso irracional por parte de ciertos grupos poblacionales, como en la producción agrícola por la implantación de un sin número de mega-proyectos que requieren de una demanda de agua cada vez mayor. Por su parte Salcedo & Guzman (2014, p. 12), mencionan que, en el Perú, desde el 90, se ha promoviendo el desarrollo de diversas tecnologías (producción, agricultura, ganadería, energía y minas), es así que, diversos programas de desarrollo se implementaron año tras año; en la Amazonía se cambiaron las practicas extractivas (producción cocalera) por otras como la producción de café, cacao, productos derivados de coco y la plantación de palma aceitera. pero el déficit hídrico viene afectando al crecimiento vegetativo, la fisiología y el rendimiento en general. Por su parte Medina (2016, p. 42), indica que, en la región San Martín y otras de la amazonia, la producción de palma aceitera es una alternativa hacedera para los gobiernos locales, regionales y nacionales, a fin de mejorar la situación monetaria de las localidades asentados en estas regiones. Sin embargo, han traído consigo problemas como la deforestación, la depresión de los suelos, afectación de las fuentes de agua y conflictos sociales; todo esto ocasionado por el vertimiento, o

disposición de sus residuos, ocasionando impactos negativos al ambiente y poniendo en serias dificultades el abastecimiento del agua a las poblaciones aledañas. Frente a estos problemas, surge la necesidad de proponer métodos que permitan reaprovechar las aguas residuales o simplemente tratarlo sin general problemas de contaminación en los cuerpos receptores. Es así que, con el presente proyecto se propone como alternativa evaluar la eficiencia de la electrocoagulación para el tratamiento del agua residual industrial procedente de la producción de aceite de palma, ya que, los métodos tradicionales resultan ser insuficientes y de costo elevado. Según Arango (2016, p.45), la electrocoagulación se fundamenta en la desestabilización de las moléculas presentes en el agua (aceites, grasas, coloides, moléculas orgánicas en general, que alteren el color, el sabor u otros parámetros organolépticos), mediante la operación de corriente eléctrica, con placas de aluminio, hierro, cobre e incluso acero inoxidable que facilitan su sedimentación y la consiguiente separación por decantación. Por lo antes expuesto, se plantea el sucesivo **problema general** ¿Cuál será la eficiencia de la electrocoagulación para tratar la materia orgánica en el agua residual de la extracción de aceite de palma?; y los problemas **específicos** son los siguientes: ¿Cuál será la concentración de materia orgánica del agua residual de la extracción de aceite de palma antes del tratamiento con electrocoagulación?, ¿Cuál será el tiempo de retención hidráulica y el voltaje empleado que permita una mayor eficiencia de tratabilidad? y ¿Cuál será concentración de materia orgánica del agua residual de la extracción de aceite de palma post el tratamiento con electrocoagulación?; el presente estudio se **Justifica teóricamente**, teniendo en cuenta la contaminación de los ríos y quebradas por diversas actividades que generan aguas residuales que se vierten con escaso tratamiento, las mismas que afectarían su calidad y ponen en riesgo la salud de las poblaciones que lo aprovechan río abajo. Además, los sistemas implementados actualmente, demandan de altos costos y su tiempo de vida es corto. Mientras que la **justificación metodológica**, se basa en que, el sistema de electro-coagulación utiliza una fuente poli electrodos que aportar iones desestabilizadores de las partículas coloidales, semejando la función de los coagulante utilizados en el tratamiento convencional, con el propósito de proponer alternativas viables de solución que ayuden a controlar la contaminación de su recurso hídrico y garantizar

su disponibilidad para los diferentes usos, así mismo promover un manejo sustentable en el utilización del agua ubicándose como una técnica con mayores ventajas comparativas como en el ámbito económico con respecto a las tecnologías de lagunaje y la **justificación social**, está relacionada con la viabilidad para su implementación en el tratamiento de aguas residuales a fin de contribuir al desarrollo sostenible de las actividades, dentro del valle amazónico y otras fuentes donde sea factible su implementación como parte del sistema de tratamiento. Ya que, según el reporte de Chirif et al. (2019, p. 54), diversas entidades dedicadas a la extracción de petróleo y aceite de palma, vienen deforestando y generando graves problemas de impacto negativo en el suelo, aire y agua en el Perú. La electrocoagulación como alternativa de tratamiento permitiría una serie beneficio, entre ellas tenemos: 1. Disminuir la carga contaminante del agua residual. 2. Evitar el uso de coagulantes o floculantes químicos residuales que generan impactos colaterales. 3. Reducir el tiempo de retención hidráulica en el tratamiento de las aguas residuales industriales. Por lo que el **objetivo general** que se plantea es evaluar la eficiencia de la electrocoagulación para tratar la materia orgánica en el agua residual de la extracción de aceite de palma; y los **objetivos específicos** son los siguientes: determinar la materia orgánica presente en el agua residual industrial de la extracción de aceite de palma antes del tratamiento con electrocoagulación, evaluar el tiempo de retención hidráulica y el voltaje que permita una mayor eficiencia de tratabilidad y determinar la materia orgánica presente en el agua residual industrial de la extracción de aceite de palma post el tratamiento con electrocoagulación. Teniendo en cuenta los problemas y los objetivos propuestos, se presenta como **Hipótesis nula (H0)**: el sistema de electrocoagulación reducirá significativamente la materia orgánica presente en el agua residual industrial de la extracción de aceite de palma; por tanto, la **Hipótesis alterna (H1)**: el sistema de electrocoagulación no reducirá significativamente la materia orgánica presente en el agua residual industrial de la extracción de aceite de palma.

## II. MARCO TEÓRICO

La presente investigación hace referencia a estudios previos de investigadores, de ello se tomó como **antecedentes internacionales** a Rusdianasari et al. (2021), los cuales mencionan que las aguas residuales industriales son uno de los tipos de residuos que pueden contaminar el medio acuático. Casi toda la industria tiene una industria de caucho de propiedad de efluentes de aguas residuales. Muchas personas de la industria del caucho están menos preocupadas por la calidad del agua y eliminan los desechos directamente en el medio ambiente. Mientras que, en el contenido de aguas residuales de la industria del caucho, existen muchos contaminantes que pueden dañar el medio ambiente, especialmente el medio marino, tales como metales, sustancias orgánicas y sustancias inorgánicas. Para eso, necesitamos un método que pueda usarse en el tratamiento de aguas residuales de esta industria del caucho que sea por método de electrocoagulación. La electrocoagulación es un método de coagulación mediante el uso de corriente eléctrica a través de eventos electroquímicos. El tratamiento de aguas residuales de caucho por método de electrocoagulación se realiza variando el voltaje y el tiempo de proceso, es decir con variaciones de 12V, 15V y 18V y con variación del tiempo de proceso 30 minutos, 60 minutos, 90 minutos, 120 minutos y 150 minutos para averiguarlo. Valores de pH, sólidos suspendidos totales (TSS), demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO5) y niveles de amoníaco. A partir de los resultados de la investigación obtenidos, las condiciones óptimas se encuentran en un voltaje de 18 voltios con un tiempo de procesamiento de 150 minutos. La efectividad de la electrocoagulación de las aguas residuales de caucho fue para TSS 85,39%, DQO 56,14%, DBO5 57,18% y NH3 73,5%, respectivamente. Estos resultados han cumplido con los estándares ambientales de las aguas residuales de caucho. Por tu parte Magaña et al. (2020); se proponen evaluar la electrocoagulación con electrodos de Al para remover contaminantes residuales del lácteos; para lo cual, se determinó el pH, densidad de corriente y tiempo de retención. Demostrando que, 3,40 mA/cm<sup>2</sup>, pH 9,5 x 5 min, sedimentado, centrifugado y filtrado, lo cual mejora la calidad del agua antes de su vertimiento. La remoción alcanzada fue un 93 % DQO y 97 % color, valores ≤ 10 UNT y 7,8 mS/cm, lo que sería aplicable según la norma NC 27 del 2012. El consumo de energético fue 2,25x10<sup>-5</sup> kW/h. Además, citamos a Hawari et al. (2020), los cuales

evaluaron la eliminación de carbono orgánico total (COT) de un agua residual municipal tratada primaria utilizando una nueva configuración de electrodo en electrocoagulación. La configuración de electrodo utilizada induce una fuerza dielectroforética (DEP) mediante el uso de un electrodo de aluminio asimétrico con una fuente de alimentación de corriente alterna. Se evaluó el impacto de la corriente aplicada, el tiempo de electrólisis y la distancia entre electrodos en la eficiencia de eliminación de TOC. Los resultados experimentales mostraron que la máxima eficiencia de eliminación de TOC se obtuvo a los 30 min de tiempo de electrólisis, 600 mA de corriente aplicada y 0,5 cm de distancia entre electrodos. En estas condiciones operativas, la eliminación de TOC fue del 87,7% en comparación con el 80,5% utilizando electrodos de aluminio simétricos sin efecto DEP. El consumo de energía en las condiciones operativas seleccionadas fue de 3,92 kWh/m<sup>3</sup>. Los resultados experimentales fueron comparables con los resultados de la simulación realizada por el software COMSOL Multiphysics. En el **contexto nacional** se consideró a Reátegui et al (2020), estudiaron el tratamiento de aguas residuales de una planta cárnica en un reactor discontinuo, se aplicó el proceso de electrocoagulación (EC) con electrodos de aluminio y hierro. Espumas formadas con electrodos de hierro muestran colores marrón, verdoso y rojizo, y las espumas formadas con electrodos de aluminio muestran principalmente un color blanquecino. Los efectos de los voltajes aplicados (6, 8 y 10 V) se analizaron a lo largo del tiempo en parámetros como densidad de corriente (A/m), pH, temperatura, porcentaje de remoción de conductividad iónica ( $\mu\text{S} / \text{cm}$ ), turbidez (turbidez nefelométrica), demanda química de oxígeno (DQO), coliformes termotolerantes y aceite-grasa. Las eficiencias de remoción de turbidez y DQO en aguas residuales de mataderos de la industria cárnica que se obtuvieron fueron 99% y 53% -59%, para aluminio, y 81,5% -88,5%, y 59% -60% para electrodos de hierro y 25 min. Tiempo EC respectivamente. A 6 V, el consumo de energía por unidad de volumen de efluente tratado ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) y por kg de DQO eliminado 2 ( $\text{kwh}/\text{kg}$  DQO) con electrodos de Al y Fe fueron (3,07 y 0,84) y (2,99 y 0,90), respectivamente. El proceso de CE con electrodos de Al y Fe demostró ser una técnica que elimina los contaminantes de las aguas residuales de los mataderos con buenos rendimientos. Por su parte Mayta y Mayta (2017), estudiaron la remoción de cromo III y demanda química de oxígeno (DQO) de muestras de aguas residuales de curtiduría por

electrocoagulación (EC) en un reactor electroquímico de operación discontinua. La influencia de los tiempos (15 a 45 min), voltajes (5 a 10 V), diluciones (0 a 2) y sus interacciones en el proceso de EC fueron significativas ( $p < 0,05$ ). Durante el proceso de EC de las muestras se observó incrementos de pH, temperatura y disminuciones de la conductividad. La máxima remoción de cromo III (98 %) y DQO (48 %) fue obtenida con el tratamiento (45 min, 10 V y dilución de 2). Asimismo, los resultados experimentales permitieron desarrollar modelos matemáticos para la remoción de cromo III y DQO, respectivamente. Además, Mecola (2019), ensaya disminuir la materia orgánica mediante un reactor de electrocoagulación comprobando su eficiencia mediante la remoción de la DQO (Demanda Química de Oxígeno) de las aguas residuales provenientes del campus universitario de la Universidad Nacional de Trujillo; así como determinar el efecto de la intensidad de corriente, tipo de electrodos, distancia de espaciamiento entre electrodos, y el pH. En base a los resultados obtenidos al realizar el tratamiento del efluente con electrocoagulación, se determinó una eficiencia promedio del 66% en la remoción de la DQO. Estos valores óptimos de operación se obtuvieron con una intensidad de corriente  $I = 6$  amperios, con el pH natural del efluente de 7,00 y un tiempo de tratamiento de 30 minutos, con lo cual se cumple la normativa ambiental vigente en el país. Otro aspecto importante observado en este estudio fue la calidad del lodo producido en el tratamiento, de aspecto mucho más compacto que un lodo físico químico o biológico.

Finalmente en el **contexto local** se consideró a Lao & Del Águila (2013), determinaron la eficiencia de la electrocoagulación y coagulación con  $Al_2(SO_4)_3$  para la remover la turbiedad del agua residual doméstica; para lo cual se utilizó 19.25 L, a la cual se sometió a diversos análisis para determinar sus características fisicoquímicas; post la aplicación del método de electrocoagulación (Tratamiento 1: T1 y Tratamiento 2: T2) y el tratamiento químico (TQ) se logró obtener los siguientes valores para la turbiedad T1: 1.73 UNT, T2: 2.33 UNT y TQ: 5 UNT que contrastados con los datos iniciales se alcanzó un 97%, 96 y 92% respectivamente; concluyéndose que el tratamiento físico mediante electrocoagulación es más eficiente que el tratamiento químico bajo las condiciones de evaluación. Por su parte, Saavedra & Torres (2019), ensayaron tres tratamientos de microorganismos eficientes (EM) para tratar efluentes no domésticos; para lo cual llevaron a cabo la

caracterización del efluente; los tratamientos ensayados fueron 10, 20 y 30 mL para un volumen de 1 L de muestra en 15 días. Concluyéndose que la dosis de 30 mL/L es la más eficiente, lográndose resultados de 426.7 mg/L, 653 mg/L y 428 mg/L para DBO, DQO y SST respectivamente. Además de Juárez & Azabache (2018), se propusieron evaluar un sistema artificial con geometría cilíndrica, cuyas dimensiones fueron 1,15 m de altura, 0,86 m de volumen y un caudal de 100 L/día; para lo cual caracterizó el agua en 4 meses, obteniéndose una máxima eficiencia a los 63 días, teniendo resultados por debajo de los límites establecidos a los parámetros DBO5 12,5 mg/L, DQO 96,5 mg/L, STD 725,0 ppm y Nitratos 1,0 ppm, incremento de los parámetros OD de 0,1 a 4,0 ppm, 27,9 - 28,1 °C, Fosfatos de 0,6 a 13,0 ppm y 7,3 - 7,4 de pH; alcanzando una eficiencia de remoción del 98,7% en DBO5, 97,6% en DQO, 58,6% en STD y 23,1% en Nitratos. En lo referente a las **bases teóricas**, es importante conceptualizar al recurso **agua**, según Chang (2010), considera que, es un disolvente único con acción doble (actúa como ácido o como base), constituido por H y O, electrólito débil, poco conductor y de baja ionización; además, es el recurso primordial que sostiene la existencia del planeta. **Aguas residuales industriales**, según el organismo responsable de evaluar y fiscalizar temas ambientales en el Perú (OEFA, 2014) considera que, son aquellas aguas generadas en la actividad industrial, procedentes de un proceso o varios procesos y que, su tratamiento estaría a cargo de la misma entidad generadora, o una empresa prestadora de servicio que esta lo contrate y no a cargo de las empresas prestadoras de servicio que tratan las aguas residuales procedentes de la población. Así mismo, Raffo & Ruiz (2014) indica que, dichas aguas resultarían alteradas en su calidad física, química o biológica, y que, requerirían de un tratamiento previo antes de ser vertidas a un cuerpo receptor, ya que este podría verse alterado y que las empresas responsables deberían ser conscientes de los conflictos ambientales y sociales que esto puede generar. **Tratamiento de las Aguas Residuales**, según Ramalho, (1983, p. 89), menciona que para su tratamiento podría considerarse cuatro etapas (tratamientos): 1. Pre-tratamiento (se remueve partículas de gran tamaño, evita problemas en proceso contiguos). Se utilizan rejas, sedimentadores y tanques Homogenizadores que equilibran el flujo entrante. 2. Primario (reducen las partículas en suspensión y la carga orgánica). “Se utiliza la coagulación, floculación, sedimentación, filtración, oxidación química,

flotación, precipitación química y filtros gruesos”. 3. Secundarios (elimina la MO con acción microbiana). Se utiliza sistemas de lagunaje (estabilización, aerobia, facultativa y maduración), filtración biológica (baja capacidad (filtros clásicos); alta capacidad (filtros comunes, biofiltros, aero-filtros y acelo-filtros)), lodos activados (convencional, alta capacidad, contacto estabilización, aeración prolongada y otros (anaeróbicos: contacto, filtro anaerobio, reactor anaeróbico de flujo ascendente; oxígeno puro: unox/linde y discos rotatorios)) y 4. Terciario (trata contaminantes no depurados en etapas anteriores como  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{PO}_4^{3-}$ , quistes de paracitos, algas, bacterias, virus, etc.).

**Extracción de aceite de palma**, Según Syahro et al. (2016) y Ghulam et al. (2019), describen al proceso como una serie de actividades en la cual no se utiliza solventes químicos y basado en un principio físico; los procesos son:

1. **Recepción del racimo de fruto fresco (RFF)**: a su entrada a la planta, los RFF son pesados, clasificados y descargados en una plataforma su posterior transporte (en vagones) hasta la esterilización.
2. **Esterilización**: Se basa en el autoclavado a baja presión (según la madurez del fruto) x 65 - 90 min. Ablanda la unión del fruto-raquis y la almendra-cáscara de la nuez, se inactiva la lipasa que favorece la producción de ácidos grasos libres. En este proceso se genera efluentes con residuos de aceite.
3. **Desfrutado**: Se realiza en el tambor desfrutador donde “se separa el fruto del raquis, el fruto pasa al digestor mediante transportadores sinfín y la columna elevadora de cangilones”; los raquis “se conducen al exterior mediante fajas transportadoras”.
4. **Digestión - prensado**: Los frutos se maceran a fin de obtener una masa homogénea, de esta se extrae (prensas de tornillo sinfín) el aceite. El licor de prensa pasará al tanque clarificador en donde se separa del aceite y las impurezas. En la prensa, “se produce la torta (fibra y nueces) que se seca y se separa la fibra de la nuez”. Estas últimas, “se envían al área de palmistería para secarse (con aire caliente en un silo)”. La fibra seca se utiliza como combustible para generar vapor de agua. Por su parte Harahap et al (2019), considera además, etapas como la
5. **Clarificación**

- **almacenamiento**: Se separan las partículas, el aceite y los lodos por diferencia de densidades y temperatura. El aceite clarificado pasa al tanque sedimentador donde las partículas pesadas son decantadas y el aceite es enviado al deshidratador (extraer la humedad), posteriormente se bombea para su almacenamiento temporal donde será sometido a control de calidad en el



laboratorio y será conducido para su almacenamiento y distribución comercial”. 6. **Centrifugado:** Las aguas oleaginosas son centrifugadas para recuperar el aceite contenido, “el cual es enviado al área de clarificación para ser separado, el resto de la mezcla se envía a los tanques florentinos donde se recuperan las últimas trazas de aceite”. Los florentinos, cumplen funciones de extracción y también parte del sistema de tratamiento de los efluentes. 7. **Desfibrado - trituración:** La mezcla de fibra y nueces es separada mediante un proceso neumático en una columna vertical donde pasa un flujo de aire ascendente donde las fibras son suspendidas y las nueces caen al fondo de la columna. Las nueces se conducen al tambor pulidor para quitarle la fibra residual y de éste al silo de secado. **Parámetros de interés,** Teniendo en cuenta que la industria en su proceso utiliza el agua en diversas etapas del proceso, este presentaría alta concentración de materia orgánica, por lo que sería indispensable el análisis de los siguientes parámetros: **Sólidos Totales Disueltos (STS)**, es un parámetro utilizado en la calificación de la calidad del de compuestos orgánicos o inorgánicos que no tienen la capacidad de solubilización y sedimentación directa, se expresan en mg/L o ppm (Baird y col, 2017). **Aceites y grasas**, son lipídicos, “saturadas o insaturadas presentes en una muestra de agua, en la actualidad una gran cantidad de aguas residuales industriales generan estos compuestos orgánicos, se expresan en mg/L o ppm” (Baird y col, 2017). **Temperatura**, es un indicador de la calidad del agua, que influye en el comportamiento de otros indicadores de la calidad del recurso hídrico, como el pH, el déficit de O<sub>2</sub>, la conductividad eléctrica y otras variables fisicoquímicas. **Potencial de hidrógeno (pH)**, es la cantidad relativa de los iones hidrógeno en el agua, indicando si se comportará como un ácido débil o una solución alcalina (Loayza y Cano 2015). **Turbiedad**, “es una expresión de la difracción óptica causada por partículas que forma una dispersión de la luz causada por materias en suspensión (sólidos)”. Uno de los métodos para determinar la turbiedad es el método nefelométrico. **Conductividad**, “es la expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica, que depende de la presencia y concentración de iones, su valencia, así como de la temperatura de la medición”; “aunque también se sabe que la conductividad está relacionada con la cantidad de materia orgánica soluble”. “La medición practicada suele ser de resistencia, medida en ohmios o megaoh-

mios, siemens o micro-siemens” (Baird y col, 2017). **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**, “es un parámetro que determina la cantidad de dióxigeno que se consume o se requiere al degradar la materia orgánica en el agua”. “Esta materia orgánica debe ser susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión”. “Se expresa en miligramos de oxígeno en un litro de muestra (mg O<sub>2</sub>/L o ppm)” (Baird y col, 2017). **Oxígeno Disuelto (OD)**, es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida, sin embargo, el oxígeno es sólo ligeramente soluble en agua. Este y otros gases que puede estar presente en la solución vienen condicionada por los siguientes aspectos: (1) solubilidad del gas; (2) presión parcial del gas en la atmósfera; (3) temperatura y (4) pureza del agua. Debido a que la velocidad de las reacciones bioquímicas que consumen oxígeno aumenta con la temperatura, los niveles de oxígeno disuelto tienden a ser más críticos en las épocas estivales (APHA et al., 2017). **Electrolisis**, “proceso químico, que se basa en una variación química de un líquido como consecuencia de una corriente eléctrica, siempre y cuando este fluido tenga la capacidad de oxidarse o reducirse, dicha corriente es inducida mediante electrodos (Ánodo – Cátodo) positivo y negativo respectivamente” (Pilay 2018). **Electrocoagulación**, Para Perozo & Abreu (2017), “es una técnica basada en inducir corriente eléctrica a través de materiales conductores a fin de remover contaminantes presentes en el agua”. En una celda donde solo hay un ánodo y un cátodo hechos de un metal M, se presentan las siguientes reacciones: En ánodo:  $M_{(s)} \rightarrow M_{(aq)}^{n+} + ne^- \rightarrow 2H_2O_{(l)} \rightarrow 4H^+_{(aq)} + O_{2(g)} + 4e^-$ ; en el cátodo:  $M_{(aq)}^{n+} + ne^- \rightarrow M_{(s)} \rightarrow 2H_2O_{(l)} + 2e^- \rightarrow H_{2(g)} + 2OH^-$ . Electrodo de Cuy Al: el electrodo de Cu, según Mollah, Schennach, Parga, & Cocke (2000), se espera la formación de Fe(OH)<sub>n</sub> y polihidróxidos. **Electrodo de aluminio**, Según Mollah, Schennach, Parga, & Cocke (2000), la disolución del ánodo produce especies como Al<sup>3+</sup>, Al(OH)<sub>2</sub><sup>+</sup> los cuales producen espontáneamente los respectivos hidróxido o polihidróxidos; estos dependen del pH de la solución iónica. Los hidróxidos y polihidróxidos formados en estas reacciones electroquímicas tienen afinidad por partículas e iones, lo que permite la coagulación. Los gases formados realizan la flotación del material coagulado. El mecanismo general donde el Al actúa como ánodo, lo que genera las siguientes reacciones: En el ánodo:  $Al \rightarrow Al^{3+} + 3e^- \rightarrow Al^{3+} (aq) + 3H_2O \rightarrow Al(OH)_3$

$(s) + 3H^+(aq) \rightarrow nAl(OH)_3 \rightarrow Al_n(OH)_{3n}$ . En el cátodo:  $3H_2O + 3e^- \rightarrow 3H_2 + 3OH^-$ .  
**.Factores que afectan la electrocoagulación**, Niazmand et al. (2020) y Julaika, Dewi y Cintia (2019), coinciden al mencionar que las condiciones que afectan la eficiencia de este método se son el pH, intensidad de corriente, conductividad, temperatura y la turbiedad básicamente.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

##### 3.1.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación según su carácter, corresponde al tipo aplicada; ya que se determina resolver un problema específico ya que “se centra en aspectos observables y estos son susceptibles a ser cuantificados usando el grado de relación entre las variables” (Paz 2017, p. 34).

##### 3.1.2. Diseño de investigación

El presente estudio corresponde a una investigación **experimental**, ya que la variable independiente puede ser manipulada de forma intencional; en este sentido el nivel de voltaje del sistema de electrocoagulación y el tiempo de retención hidráulica serán manipuladas a fin de encontrar una menor concentración de materia orgánica como resultado final. Según la linealidad del proceso metodológico, el método del estudio presenta un “**enfoque cuantitativo**”. El esquema que se muestra a continuación se explica el método experimental (Paz (2017, p. 18)

**Tabla 1**

Esquema general del diseño experimental.

Grupos	Pre-Test	Tratamiento	Post-Test
Ge1	O1	X	O2
Gc	O1	-	O2

**Nota:**

Ge1: Grupo experimental 1

Gc: Grupo control

O1: Evaluación inicial

O2: Evaluación final

*Fuente: Modificado a partir de Paz (2017)*

#### 3.2. Variables:

##### 3.2.1. Variable independiente:

Sistema de electrocoagulación.

##### 3.2.2. Variable dependiente:

Materia orgánica del agua residual.

### **3.2.3. Operacionalización de variables:**

#### **3.2.3.1. Variable independiente:**

Sistema de electrocoagulación

##### **Definición conceptual:**

Según Vera (2016), están conformados por un conjunto de elementos que trabajan bajo ciertas condiciones para oxidar compuestos presentes en el agua alterando su polaridad.

##### **Definición operacional:**

La función del sistema de electrocoagulación es desestabilizar las partículas no deseadas que se encuentran en suspensión, emulsionadas o disueltas en el medio acuoso, "induciendo corriente eléctrica mediante placas metálicas paralelas".

##### **Dimensiones:**

Intensidad de corriente eléctrica, tiempo de retención hidráulica, temperatura en el sistema de tratamiento.

##### **Indicadores:**

Voltaje de energía eléctrica

T1= 20

T2= 10

Temperatura:  $\geq 25$  °C.

##### **Escala de medición:**

Cuantitativa continua: mA/m<sup>2</sup>, minutos y mg/L

#### **3.2.3.2. Variable dependiente:**

Materia orgánica del agua residual

##### **Definición conceptual:**

Según Mihelcic & Zimmerman (2006), la materia orgánica en una muestra de agua está constituida por el conjunto de compuestos como

carbohidratos, proteínas y lípidos que alteran sus propiedades y su naturaleza.

**Definición operacional:**

La materia orgánica se evaluada indirectamente en función a ciertos parámetros indicadores como son la DQO, DBO, DBO5, SST, etc.

**Dimensiones:**

Valor.

**Indicadores:**

Alta y baja concentración.

**Escala de medición:**

Cuantitativa continúa: mg/L, ppm.

**3.3. Población, muestra y muestreo:**

**3.3.1. Población:**

200 m<sup>3</sup>/día de agua residual industrial de OLPESA S.A., procedente de la extracción de aceite de palma en la región San Martín, donde se procesan aproximadamente 200 toneladas de racimo de palma por día y la relación de consumo de agua es 1 m<sup>3</sup>/tonelada de racimo fresco de frutos de palma.

**3.3.2. Muestra:**

40 litros de agua residual industrial de la empresa OLPESA S.A., procedente de la extracción de aceite de palma en la región San Martín; el volumen de la muestra de agua se sustenta según los siguientes requerimientos: 30 L: Para el ensayo de electrocoagulación; y 10 L de volumen requerido por el laboratorio para evaluación de los parámetros de interés, antes y después del tratamiento (DQO:1000 mL, SST: 200 mL, pH: 50 mL, DQO: 1000 mL, aceites y grasas: 1000 mL, turbiedad: 1000 mL y conductividad eléctrica: 500 mL).

**3.3.3. Muestreo:**

El muestreo en la presente investigación corresponde a una muestra integrada, la misma que será seleccionada en función de la accesibilidad y al criterio del investigador, según el acceso de la empresa OLPESA S.A., sin alterar o interferir en sus actividades de sus procesos. Según la Dirección General de Salud

Ambiental (DIGESA, 2015), en concordancia con la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2016), indica que para ensayos o evaluaciones, el muestreo, selección y colecta se realizará de manera similar a la que se colecta para estudiar y determinar la calidad del agua; este es un procedimiento definido por medio del cual se toma una parte que represente de manera homogénea al cuerpo de interés.

### **Tipos de muestreo:**

La toma de las muestras de agua, ensayo y evaluación se deberán tomar las muestras en puntos estratégicos ya establecida de acuerdo al instrumento de gestión ambiental y de acuerdo a lo que se estable en las disposiciones de las entidades competentes antes mencionadas. El **muestreo integrado** estará constituido por **muestras simples** de los puntos de monitoreo preestablecido, tal como se indica a continuación.

- **Muestra simple o puntual:** Consiste en la toma de una porción de agua en un punto (Afluente de la planta de tratamiento de agua residual industrial de la empresa OLPEA S.A.) y en tiempo determinado. Las muestras simples representan las condiciones y características de la composición original del cuerpo de agua para el lugar, tiempo y circunstancias particulares en el instante en el que se realizara su recolección.
- **Muestra compuesta:** Consiste en la homogenización de muestras puntuales tomadas en diferentes horarios (tres turnos: mañana, tarde y noche) y en un mismo punto (afluente), con la finalidad de conocer las condiciones de calidad de agua de interés. El volumen de cada muestra simple se realizará en un recipiente de 5 L de capacidad (tres turnos de producción: mañana, tarde y noche) hasta alcanzar un total de 40 L, los cuales serán depositada en un recipiente con capacidad apropiada.

## **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **3.4.1. Técnicas de recolección de datos.**

- Observación directa: Lo cual permite registrar los diferentes cambios físicos del analítico durante el ensayo.
- Pre test: Procedimiento para determinar parámetros básicos antes de la electrocoagulación.

- Post test: Procedimiento para determinar parámetros básicos post la electrocoagulación.

### **3.4.2. Instrumentos de recolección de datos.**

- Formato de registro de ensayo de electrocoagulación.

### **3.4.3. Criterios de validez y confiabilidad**

#### **3.4.3.1. Validez de los Instrumentos**

El formato de registro de la electrocoagulación fue validado considerando la formulación de los ítems según el criterio de los jueces (profesionales expertos).

#### **3.4.3.2. Confiabilidad de los Instrumentos**

La confiabilidad está dada según su consistencia y reduciendo las dimensiones consideradas en la operacionalización de las variables que permitieron determinar el grado en que el instrumento produce los resultados consistentes sometándolo a una prueba piloto previo al ensayo final.

### **3.5. Procedimiento**

El método de investigación para el presente proyecto se divide en tres etapas, las mismas que se detallan a continuación:

#### **3.5.1. Etapa I: Etapa de gabinete inicial**

##### **Revisión bibliográfica**

- Se revisó libros, revistas, artículos, tesis y otros.
- La información fue sistematizada a fin de ser utilizada según lo requerido.

##### **Gestión para el desarrollo del proyecto**

- Adquisición de materiales, equipos e instrumentos.

##### **De los sistemas (celdas de cobre o aluminio)**

- Cada sistema presentó las siguientes características:
  - Tanque de vidrio 7000 mL.
  - Plataforma metálica de 20.5 x 30 x 1 cm.
  - Soporte metálico de 20 x 1.5 cm.
  - Transformador de 25 V.



- Plancha de Al de 40 cm x 1.5 cm x 0.6 mm.
- Plancha de Cu de 40 cm x 1.5 cm x 0.6 mm.
- Probeta de vidrio de 1000 mL.

#### **Diseño del sistema y la celda electroquímica**

- El sistema presento un volumen de 7000 mL (5000 mL volumen de trabajo).
- Las celdas se dispusieron en 2 filas (separadas por 3 cm).

#### **Electrodos**

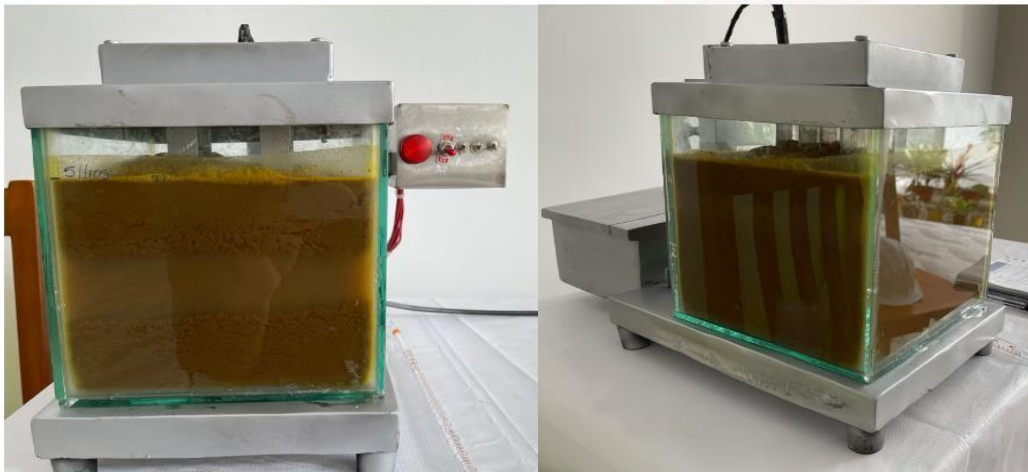
- 12 electrodos (06 de Al y 06 de Cu) 1.5 x 20 cm, separados por 1 cm entre sí.
- Los electrodos se conectaron a energía alterna (12 - 24 V).

#### **Fuente de energía**

- La energía se convirtió a  $24V = 5A - 12V = 2.5A$ .

#### **Tiempo de retención hidráulica**

- El tiempo estimado vario entre 40 y 60 min.



**Figura 1**

*Prototipo del sistema de electrocoagulación.*

*Fuente: Elaboración propia, 2021*

#### **Elaboración de los instrumentos:**

- Se elaboraron los instrumentos de gestión para la ejecución del proyecto.

### **3.5.2. Etapa II: Etapa de campo**

#### **Delimitación del punto de muestreo**

- El punto de muestreo fue georreferenciado haciendo uso de un GPS.

#### **Obtención, conservación y transporte de la muestra**

- La muestra fue colectada según lo establecido en la guía del manual del banco mundial.

#### **Rotulado y etiquetado**

- Los recipientes se rotularon con etiquetas autoadhesivas donde indica el nombre del solicitante, código de la muestra, matriz, fecha, hora de muestreo y responsable de la toma de muestra.
- La etiqueta fue cubierta con cinta transparente para protegerlo de la humedad.

#### **Toma de la muestra**

- La muestra fue colectada en un punto de corriente constante, evitando en todo momento contaminarlo con sedimentos de fondo o la orilla.
- Dicha muestra fue colectada en horario de producción, en 02 recipientes con capacidad de 20 L cada uno, a los cuales se les retiró la tapa y se enjuagó 03 veces con el agua residual a muestrear.
- La muestra se conservó en a 4°C; al concluir dicho proceso, se llenó la cadena de custodia, la cual será remitida al laboratorio junto a las muestras para el análisis respectivo.

### **3.5.3. Etapa III: Etapa de laboratorio**

#### **Ensayo de electrocoagulación**

- 2500 mL de la muestra fue sometida a 12V = 2.5A y 24V = 5A por 40 y 60 min respectivamente, ensayados con electros de cobre y aluminio por separado.
- El proceso se realizó por triplicado a fin de garantizar su veracidad.
- Los resultados se registraron en el formato de registro de ensayo de electrocoagulación.

### **3.5.4. Etapa IV: Etapa de gabinete final**

- Los resultados registrados se ordenaron para su interpretación posterior.
- La eficiencia de la tratabilidad de la MO (DBO) se realizó aplicando la siguiente fórmula.

$$\% \text{ de Remocion} = \frac{(DQO \text{ Inicial} - DQO \text{ Final})}{DQO \text{ Inicial}} \times 100 \dots\dots\dots \text{Formula 01}$$

- Se consideró eficiente si se removió un valor mayor o igual al 90% de la MO.

### **3.6. Método de análisis de datos**

Los datos fueron analizados haciendo uso de la aplicación Excel del software Microsoft Office 2019, donde se sistematizaron los valores de los parámetros de interés remitidos por el laboratorio EQUAS, para finalmente determinar la tratabilidad en valores porcentuales de la remoción de materia orgánica en función a los parámetros aceites y grasas, demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno.

### **3.7. Aspectos éticos**

Se considerará lo estipulado en la Guía de la Universidad Cesar Vallejo. Respecto a las teorías relacionadas, se citarán referencias respetando siempre el derecho de autenticidad consideradas en la norma internacional ISO 690 de documentación y referencias bibliográficas.

#### IV. RESULTADOS

Los resultados obtenidos son:

##### **Materia orgánica presente en el agua residual industrial de la extracción de aceite de palma antes del tratamiento con electrocoagulación.**

- 4.1. La concentración de materia orgánica en el agua residual de la planta agroindustrial OLPEsa es 66.5 mg/L de aceites y grasas, 2385 mg DBO/L y 6517 mg DQO/L (Tabla 1)

**Tabla 2**

Concentración de materia orgánica en el agua residual industrial de la extracción de aceite de palma aceitera.

Parámetro	Unidad	Concentración
Aceites y grasas	mg/L	66.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg DBO/L	2385
Demanda Química de Oxígeno	mg DQO/L	6517

Fuente: *Elaboración propia, 2021.*

##### **Interpretación:**

La concentración de la materia orgánica presente en los efluentes del agua residual industrial de la extracción de aceite de palma aceitera (aceites y grasas (mg/L), DBO (mg DBO/L) y la DQO (mg DQO/L)), supera los valores indicativos de efluentes para el procesamiento de aceite vegetal de la GUÍA SOBRE MEDIO AMBIENTE, SALUD Y SEGURIDAD PARA LA PRODUCCIÓN Y EL PROCESAMIENTO DE ACEITE VEGETAL del Grupo del Banco Mundial - 2015.

##### **Tiempo de retención hidráulica y el voltaje que permita una mayor eficiencia de tratabilidad en función de la Demanda Química de Oxígeno.**

- 4.2. La mejor tratabilidad, referida a la disminución de materia orgánica del agua residual de la extracción de aceite de palma, Olpesa, Tocache, corresponde al electrodo de aluminio con el 97,1%, en 60 minutos y con 24 voltios; sin embargo, con electrodo de cobre, también se obtuvo alta tratabilidad con 96,78%, con el mismo voltaje y tiempo. (Tabla 2)

**Tabla 2**

Tiempo de retención hidráulica, ensayado en la aplicación de la electrocoagulación para tratar el agua residual procedente de aceite de palma.

Electrodo	Tiempo de retención hidráulica (min)	Voltaje (v)	Porcentaje de tratabilidad (%)
Aluminio (Al)	40	12	80.82
	40	24	95.37
	60	12	87.92
	60	24	97.31
Cobre (Cu)	40	12	61.49
	40	24	93.65
	60	12	78.20
	60	24	96.78

Fuente: *Elaboración propia, 2021.*

**Interpretación:**

Al evaluar el tiempo de retención hidráulica y el flujo voltaico en el proceso de electrocoagulación, con electrodos de Aluminio y Cobre, se determinó una mayor eficiencia para ambos casos a los 60 minutos y un flujo de corriente de 24 voltios.

**Materia orgánica presente en el agua residual industrial de la extracción de aceite de palma post el tratamiento con electrocoagulación.**

- 4.3.** La materia orgánica en el agua residual en la extracción de aceite de palma con electrocoagulación de aluminio, ha disminuido 86% (57.5) de carga de aceites y grasas; y, con electrodos de cobre ha disminuido en 81% (54,1) de carga de aceites y grasas, en ambos casos, con 24 voltios en 60 minutos. (Tabla 3).

**Tabla 3**

Concentración de materia orgánica en el agua residual industrial de la extracción de aceite de palma post la aplicación de electrocoagulación.

Parámetro	Unidad	Tiempo de retención hidráulica (min)	Materia orgánica inicial pre tratamiento	Voltaje (v)	Concentración con electrodos de Al post tratamiento	Concentración con electrodos de Cu post tratamiento
Aceites y grasas	mg/L	10	66.5	12	37.00	42.50
		15		12	11.20	17.60
		30		12	12.50	15.00
		60		24	9.00	12.40

Fuente: *Elaboración propia, 2021.*

**Nota:**

(\*)TRH: Tiempo de retención hidráulica.

(\*\*)MO: Materia orgánica presente antes del tratamiento.

**Interpretación:**

La concentración de la materia orgánica presente en los efluentes del agua residual industrial de la extracción de aceite de palma aceitera en función al parámetro indicador como aceites y grasas (mg/L), post el tratamiento de electrocoagulación con electrodos de Aluminio y Cobre, disminuye la concentración a medida que el tiempo y el flujo voltaico aumentan.

- 4.4.** La materia orgánica en el agua residual en la extracción de aceite de palma con electrocoagulación de aluminio, ha disminuido 94% (2235) de DBO; y, con electrodos de cobre ha disminuido en 94% (2235) de carga de DBO, en ambos casos, con 24 voltios en 60 minutos. (Tabla 4).

**Tabla 4**

Concentración de materia orgánica en el agua residual industrial de la extracción de aceite de palma post la aplicación de electrocoagulación.

Parámetro	Unidad	Tiempo de retención hidráulica (min)	Materia orgánica inicial pre tratamiento	Voltaje (v)	Concentración con electrodos de Al post tratamiento	Concentración con electrodos de Cu post tratamiento
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg DBO/L	40	2385	12	952.00	1452.00
				24	204.00	351.00
		60		12	593.00	754.00
				24	150.00	150.00

Fuente: *Elaboración propia, 2021.*

**Nota:**

(\*)TRH: Tiempo de retención hidráulica.

(\*\*)MO: Materia orgánica presente antes del tratamiento.

**Interpretación:**

La concentración de la materia orgánica presente en los efluentes del agua residual industrial de la extracción de aceite de palma aceitera en función al parámetro indicador como DBO (mg DBO/L), post el tratamiento de electrocoagulación con electrodos de Aluminio y Cobre, disminuye la concentración a medida que el tiempo y el flujo voltaico aumentan.

- 4.5.** La materia orgánica en el agua residual en la extracción de aceite de palma con electrocoagulación de aluminio, ha disminuido 97% (6342) de DQO; y, con electrodos de cobre ha disminuido en 96% (6307) de DQO, en ambos casos, con 24 voltios en 60 minutos. (Tabla 5).

**Tabla 5**

Concentración de materia orgánica en el agua residual industrial de la extracción de aceite de palma post la aplicación de electrocoagulación.

TRH (min) *	Voltaje (v)	MO (mg/L)**	Tratamiento con electrodos de Al (mg/L)	Tratamiento con electrodos de Cu (mg/L)
40	12	6517	1250.00	2510.00

40	24	6517	302.00	414.00
60	12	6517	787.00	1421.00
60	24	6517	175.00	210.00

Fuente: *Elaboración propia, 2021.*

**Nota:**

(\*)TRH: Tiempo de retención hidráulica.

(\*\*)MO: Materia orgánica presente antes del tratamiento.

**Interpretación:**

La concentración de la materia orgánica presente en los efluentes del agua residual industrial de la extracción de aceite de palma aceitera en función al parámetro DQO (mg DQO/L) post el tratamiento mediante electrocoagulación con electrodos de aluminio y cobre, disminuye la concentración a medida que el tiempo y el voltaje aumentan.

**Eficiencia de la electrocoagulación para tratar la materia orgánica en el agua residual de la extracción de aceite de palma.**

- 4.6.** La mayor eficiencia de electrocoagulación con electrodos de aluminio de la materia orgánica del agua residual en la extracción de aceite de palma en Olpesa, Tocache, corresponde a 24 voltios en 60 minutos. (Tabla 6).

**Tabla 6**

Eficiencia de la electrocoagulación para tratar la materia orgánica en el agua residual industrial de la extracción de aceite de palma., OLPESA, Tocache, 2021.

Parámetro	MO	Eficiencia (%)			
		12Vx40 min	12Vx60 min	24Vx40 min	24Vx60 min
Aceites y grasas	66.50	44	81	83	86
Conductividad eléctrica	6780.00	82	91	92	94
DBO	2385.00	60	75	91	94
DQO	6517.00	81	88	95	97
STS	14910	76	86	91	92
Turbiedad	986.00	33	74	84	90

Fuente: *Elaboración propia, 2021.*



### Interpretación:

La eficiencia determinada en función a los parámetros como son aceites y grasas, conductividad eléctrica, DBO, DQO, STS y Turbidez mediante la aplicación de electrodos de Aluminio y Cobre con un flujo de 12 y 24 voltios y un tiempo de retención hidráulica de 40 y 60 minutos; resulta que la combinación con mejores resultados para remover los mencionados parámetros indicadores de materia orgánica presente en el agua residual industrial procedente de la extracción de aceite de palma aceitera fue 24 V por 60 min y el electrodo con mayor eficiencia fue el constituido por Aluminio, el cual alcanzó remover un 86.47% de Aceites y grasas, un 93.75% de la Conductividad eléctrica, 93.71 % de DBO, 97.31 % de DQO, 92.22 % de STS y un 89.6% de turbidez con un incremento de pH desde 2.17 hasta 6.00 unidades de pH. Teniendo como referencia los valores indicativos del Grupo Banco mundial del año 2015, solo aplicaría para los parámetros Conductividad eléctrica, DBO, DQO, y STS.

- 4.7. La mayor eficiencia de electrocoagulación con electrodos de cobre de la materia orgánica del agua residual en la extracción de aceite de palma en Olpesa, Tocache, corresponde a 24 voltios en 60 minutos. (Tabla 7).

**Tabla 7**

Eficiencia de electro-coagulación mediante electrodos de cobre para remover la materia orgánica en efluente de procesamiento de palma aceitera, OLPESA, Tocache, 2021.

Parámetro	M0	Eficiencia (%)			
		12Vx40 min	12Vx60 min	24Vx40 min	24Vx60 min
Aceites y grasas	66.50	36	77	74	81
Conductividad eléctrica	6780.00	66	85	87	91
DBO	2385.00	39	68	85	94
DQO	6517.00	61	78	94	97
STS	14910	43	65	90	91
Turbiedad	986.00	25	58	74	81

Fuente: *Elaboración propia, 2021.*

### Interpretación:

La eficiencia de la electrocoagulación con electrodos de cobre para tratar el agua residual industrial de la extracción de aceite de palma aceitera con alto contenido de materia orgánica evaluada en función a los parámetros aceites y grasas, conductividad eléctrica, DBO, DQO, STS y turbiedad, aumenta a medida que el tiempo de retención hidráulica y el voltaje aumentan, alcanzando valores superiores al 90 % de remoción a los 60 min y 24 v, excepto para el parámetro aceites y grasas y turbiedad.

- 4.8. La carga orgánica del agua residual de la extracción de aceite de palma, con electrodos de aluminio, disminuye progresivamente en función al incremento del voltaje y del tiempo de tratamiento. (Tabla 8).

**Tabla 8**

Evolución de efectos de la electrocoagulación de materia orgánica de agua residual de la extracción de aceite de palma, con electrodos de aluminio, en función al voltaje y el tiempo, en OLPESA, Tocache, 2021.

Parámetro	MO	Aluminio			
		12Vx40 min	12Vx60 min	24Vx40 min	24Vx60 min
Aceites y grasas (mg/L)	66.50	37.00	12.50	11.20	9.00
Conductividad eléctrica (µmho/Cm)	6780.00	1254.00	625.00	512.00	424.00
DBO (mg DBO/L)	2385.00	952.00	593.00	204.00	150.00
DQO (mg DBO/L)	6517.00	1250.00	787.00	302.00	175.00
STS (mg/L)	14910.00	3524.00	2120.00	1354.00	1160.00
Turbiedad (UNT)	986.00	658.00	254.00	158.00	102.00

Fuente: *Elaboración propia, 2021.*

### Interpretación:

La evolución del efecto de la electrocoagulación con electrodos de aluminio para tratar el agua residual industrial de la extracción de aceite de palma aceitera con alto contenido de materia orgánica evaluada en función a los parámetros aceites y grasas, conductividad eléctrica, DBO, DQO, STS y turbiedad, reduce los valores de cada uno de los mencionados parámetros a medida que el tiempo de retención

hidráulica y el voltaje aumentan, alcanzando una reducción mínima a los 60 min y 24v.

- 4.9.** La carga orgánica del agua residual de la extracción de aceite de palma, con electrodos de cobre, disminuye progresivamente en función al incremento del voltaje y del tiempo de tratamiento. (Tabla 9).

**Tabla 9**

Evolución de efectos de la electrocoagulación de materia orgánica de agua residual de la extracción de aceite de palma, con electrodos de cobre, en función al voltaje y el tiempo, en OLPESA, Tocache, 2021.

Parámetro	M0	Cobre			
		12Vx40 min	12Vx60 min	24Vx40 min	24Vx60 min
Aceites y grasas (mg/L)	66.50	42.50	15.00	17.60	12.40
Conductividad eléctrica (µmho/Cm)	6780.00	2321.00	984.00	912.00	641.00
DBO (mg DBO/L)	2385.00	1452.00	754.00	351.00	150.00
DQO (mg DBO/L)	6517.00	2510.00	1421.00	414.00	210.00
STS (mg/L)	14910.00	8525.00	5211.00	1455.00	1285.00
Turbiedad (UNT)	986.00	741.00	411.00	258.00	187.00

Fuente: *Elaboración propia, 2021.*

**Interpretación:**

La evolución del efecto de la electrocoagulación con electrodos de cobre para tratar el agua residual industrial de la extracción de aceite de palma aceitera con alto contenido de materia orgánica evaluada en función a los parámetros aceites y grasas, conductividad eléctrica, DBO, DQO, STS y turbiedad, reduce los valores de cada uno de los mencionados parámetros a medida que el tiempo de retención hidráulica y el voltaje aumentan, alcanzando una reducción mínima a los 60 min y 24 v.

## V. DISCUSIÓN

Las aguas residuales industriales presentan agentes orgánicos y/o inorgánicos, según la actividad que desarrollan y que, pueden contaminar el medio acuático si no reciben un tratamiento adecuado. En la actualidad existen diversos métodos, entre ellos basados en principios químicos, biológicos o físicos, pero que, cada uno de ellos es insuficiente por si mismos por lo que se requiere de métodos combinados, a fin de aminorar costos, tiempo y espacio en las plantas de tratamiento. **Rumky, Tang & Sillanpää (2020)**

En el estudio evaluado se logró determinar que la materia orgánica presente en el agua residual industrial procedente de la extracción de aceite de palma Oleaginosas Del Perú S.A superan los valores indicativos para efluentes del procesamiento de aceite vegetal establecidos en la guía sobre medio ambiente, salud y seguridad del (Grupo del Banco Mundial – 2015).

La electrocoagulación con electrodos de Aluminio remueve compuestos orgánicos del agua residual industrial a 3,40 mA/cm<sup>2</sup>, pH 9,5 x 5 min, cuya remoción alcanzada un 93 % DQO y 97 % color, valores  $\leq$  10 UNT y 7,8 mS/cm **Magaña et al. (2020)**

Al aplicar la electrocoagulación para tratar las aguas residuales con un alto porcentaje de materia orgánica, se utiliza una energía mayor de 18 voltios y un tiempo de retención hidráulica mayor de 150 minutos estos permiten una mejor remoción de TSS, DQO y DBO5.

Además del tiempo y voltaje, se debe tener en cuenta la distancia entre electrodos, y que, la máxima eficiencia de tratabilidad se obtendría a los 30 minutos, 600 mA de corriente y 0,5 cm entre electrodos, eliminando entre el 80.5 a 87,7% de la materia orgánica con electrodos de aluminio. **Rusdianasari et al. (2021)**

El voltaje y el tiempo de retención hidráulica ensayado en el presente estudio fue de 24V por 60 minutos; tanto en la utilización de celdas de aluminio y cobre que permitió una mayor tratabilidad de la muestra del agua residual de la extracción de aceite de palma , que se evaluó en función al parámetro DQO ; la utilización de los electrodos de aluminio permitió obtener una tratabilidad del 97,31%, y los electrodos de cobre una tratabilidad del 96,78%.

La utilización de electrodos de aluminio y hierro de 6, 8 y 10 V se logra remover 99% de turbiedad con electrodos de aluminio, y 81,5-88,5% de la turbiedad con electrodos de hierro. Por su parte Mecola (2019), indica que se remueve un 66% de la DQO con una intensidad de corriente de 6 amperios y un tiempo de tratamiento de 30 minutos, con lo cual se cumple la normativa ambiental vigente en el país.

#### **Reátegui et al (2020)**

Para el tratamiento del agua residual procedente de la extracción de aceite de palma Oleaginosas Del Perú S.A se utilizó electrodos de aluminio y cobre en 12 V y 24 V, en tiempos de 40 min y 60 min, alcanzando los mejores resultados en la utilización del electrodo de aluminio a comparación del electrodo de cobre mediante la combinación de 24 voltios en 60 minutos, se logró una eficiencia de remoción de aceites y grasas, conductividad eléctrica, DBO, DQO, STS y de la turbiedad.

Así como el presente estudio guarda concordancia con algunos trabajos, también, se da el caso que puede discrepar; en la utilización de electrodos de aluminio mediante la aplicación 6, 8 y 10 V solo se logra una remoción máxima del 53-59% de la DQO, para aluminio, y con electrodos de hierro una remoción del 59-60% de la DQO. **Reátegui et al (2020)**

En el presente trabajo de agua residual industrial de la extracción de aceite de palma con electrocoagulación de aluminio, con 24 voltios en 60 minutos ha disminuido 97% de DQO; y, con electrodos de cobre en 96% de DQO.

La eficiencia de la electrocoagulación estaría influenciada por la cantidad de sólidos suspendidos y que estos en concentraciones muy elevadas 15 000 mg/L impedirían el proceso, ya que la densidad del agua retrasa el principio de coagulación, floculación y sedimentación. **Apaza-aquino et al. (2020)**

En el proceso de electrocoagulación de las aguas residuales de la extracción de aceite de palma Oleaginosas Del Perú S.A, el electrodo con mayor eficiencia fue constituido por el aluminio, el cual alcanzó 1160 mg/L, el cual equivale al 92.22 % de STS.

Las aguas que sean sometidas a tratamiento mediante electrocoagulación, deberían recibir tratamientos previos en función a sus características, por ejemplo, si presentan un alto contenido de grasas, estas deberían pasar por una trampa de grasas, si presentan alto contenido de sólidos gruesos, es recomendable una previa sedimentación; esta última podría ser el caso en la cual se explica que el sistema ensayado no fue eficiente para tratar el contenido de aceites y grasas presentes. **Apaza-aquino et al. (2020)**

La empresa de aceite de palma Oleaginosas Del Perú S.A, cuenta con procesos de lagunas de estabilización, lagunas anaerobias y laguna facultativa, los cuales producen una disminución de la contaminación que se genera y hacen el aprovechamiento de los gases metano y dióxido de carbono produciendo biogás, generando beneficios para la planta como energía eléctrica.

## **VI. CONCLUSIONES**

Con los resultados obtenidos de los objetivos planteados, llegamos a las siguientes conclusiones:

1. La concentración de materia orgánica en el agua residual industrial de la extracción de aceite de palma aceitera Oleaginosas Del Perú S.A, según los parámetros aceites y grasas, DBO y la DQO, supera los valores indicativos para efluentes del procesamiento de aceite vegetal, establecidos en la guía sobre medio ambiente, salud y seguridad, para la producción y el procesamiento de aceite vegetal del Grupo del Banco Mundial – 2015.
2. El tiempo de retención hidráulica y voltaje que permitieron obtener mayor eficiencia en el proceso de electrocoagulación, con electrodos de aluminio y cobre, fue a los 60 minutos con voltaje de 24, para ambos casos.
3. La concentración de la materia orgánica en el agua residual industrial de la extracción de aceite de palma aceitera Oleaginosas Del Perú S.A, en función a los parámetros aceites y grasas, DBO y DQO post el tratamiento, mediante electrocoagulación con electrodos de aluminio y cobre, disminuye la concentración a medida que el tiempo y el voltaje aumentan.
4. Las celdas de Aluminio brindan superior electrocoagulación de los compuestos orgánicos existentes en el agua residual de aceite de palma aceitera Oleaginosas Del Perú S.A., en comparación a las celdas de Cobre.
5. Las celdas de cobre tienden a oxidarse con mayor facilidad, produciendo sarro, en flagrante desventaja en comparación a las celdas de aluminio en el proceso de electrocoagulación del tratamiento de la extracción de aceite de palma aceitera Oleaginosas Del Perú S.A.
6. La electrocoagulación para tratar el agua residual industrial orgánica de la extracción de aceite de palma aceitera Oleaginosas Del Perú S.A, para tratar los parámetros como la conductividad eléctrica DBO DQO, STS y turbiedad, en 60 min y 24 v de energía eléctrica, con electrodos de aluminio, es eficiente

(90 %) que supera a los electrodos de cobre (81 %); por tanto, se acepta la hipótesis nula, en el sentido que el sistema de electrocoagulación reducirá significativamente la materia orgánica presente en el agua residual industrial de la extracción de aceite de palma; y, rechaza la hipótesis alterna.



## **VII. RECOMENDACIONES**

1. A la empresa Oleaginosas del Perú S.A, realizar el proceso previo de dilución del agua residual industrial procedente del proceso de extracción de aceite de palma que facilite la acción coagulante mediante la aplicación de electrodos.
2. A la empresa Oleaginosas del Perú S.A, incentivar para el diseño de un reactor para la electrocoagulación con la finalidad de disminuir los puntos muertos en el proceso de electrocoagulación.
3. A la empresa Oleaginosas del Perú S.A, implementar un sistema de corta-espuma en el proceso de electrocoagulación para el tratamiento del agua residual industrial de la extracción de aceite de palma.
4. A la empresa Oleaginosas del Perú S.A, realizar el mayor número de ensayos a fin de optimizar el tiempo de retención hidráulica y el voltaje empleado en el proceso de electrocoagulación.
5. A la empresa Oleaginosas del Perú S.A, realizar el estudio de costo beneficio en relación al tiempo de retención hidráulica y el voltaje empleado en la investigación.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN** public health association, american water works association y water environment federation, 2017. *standard methods for the examination of water and wastewater* [en línea]. 23. washington - ee uu: s.n. disponible en: [www.standardmethods.org](http://www.standardmethods.org).
- APAZA-Aquino, h., daniel, e., monteagudo, c., katherine, d., colpaert, c., rodolfo, f. y chambi, h.,** 2020. Model of a Treatment System for Effluents From the Tannery Industry. , no. 051, pp. 1647-1658.
- ARANGO, A.,** 2016. tratamiento de aguas residuales mediante electrocoagulación: desarrollo y potencial de aplicación. *engineering and technology* [en línea], vol. 21, no. 3, pp. 93-99. disponible en: <http://www.medigraphic.com/pdfs/quirurgicas/rmq-2016/rmq163c.pdf>.
- AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA, 2016.** *protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales*. 2016. Lima - Perú: Marzo 2016.
- BANCO MUNDIAL, 2015.** *guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para la producción y el procesamiento de aceite vegetal*. 2015. Washington D. C. - Estados Unidos: s.n.
- CHANG, r. y goldsby, k., 2013.** *química*. 11. méxico - méxico: s.n. isbn 978-607-15-0928-4.
- CHIRIF, A., álvarez, j., timothy, a., luisa, b., belaunde, e., martín, m., hugo, b., juan, c., dammert, l., cañas, c. y del, d., 2019.** peru: deforestation in times of climate change. [en línea]. lima - Perú: disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/338898445\\_perudeforestation\\_in\\_times\\_of\\_climate\\_change\\_alberto\\_chirif\\_editor](https://www.researchgate.net/publication/338898445_perudeforestation_in_times_of_climate_change_alberto_chirif_editor).
- DIRECCIÓN GENERAL DE SALUD AMBIENTAL, 2015.** *protocolo de procedimientos para la toma de muestras, preservación, conservación, transporte, almacenamiento y recepción de agua para consumo humano* [en línea]. 2015. lima - Perú: s.n. r. d. n° 160. disponible en: [http://www.digesa.minsa.gob.pe/normaslegales/normas/rd\\_160\\_2015\\_digesa.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/normaslegales/normas/rd_160_2015_digesa.pdf).
- GHULAM, A., hishamuddin, e., kheang-loh, s., ong-abdullah, m., mohamed, k., izuddin, m., sundram, s., azizul, z. y idris, z., 2019.** oil palm economic performance in malaysia and r&d progress in 2018. *journal of oil palm research* [en línea], vol. 31, no. 2, pp. 165-194. issn 15112780. doi 10.21894/jopr.2019.0026. disponible en: <http://jopr.mpob.gov.my/oil-palm-economic-performance-in-malaysia-and-rd-progress-in-2018/>.
- HARAHAP, F., leduc, s., mesfun, s., khatiwada, d., kraxner, f. y silveira, s., 2019.** opportunities to optimize the palm oil supply chain in sumatra, indonesia. *energies* [en línea], vol. 12, no. 3, pp. 420. issn 1996-1073. doi 10.3390/en12030420. disponible en: <http://www.mdpi.com/1996-1073/12/3/420>.

- HAWARI, A., alkhatab, a., hafiz, m. y das, p., 2020.** a novel electrocoagulation electrode configuration for the removal of total organic carbon from primary treated municipal wastewater. *environmental science and pollution research* [en línea], vol. 27, no. 19, pp. 23888-23898. issn 0944-1344. doi 10.1007/s11356-020-08678-4. disponible en: <https://link.springer.com/10.1007/s11356-020-08678-4>.
- INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA LA AGRICULTURA, 2017.** *el agua para la agricultura de las américas* [en línea]. 1. mexico: s.n. isbn 9789292487003. disponible en: <http://repositorio.iica.int/bitstream/11324/6148/1/bve17109367e.pdf>.
- JUÁREZ, L. y azabache, y., 2018.** *evaluación del humedal artificial de lecho fluidizado ascendente con macrofitas flotantes, en la remoción de aguas residuales del matadero municipal de la ciudad de moyobamba 2017* [en línea]. s.l.: universidad nacional de san martín. disponible en: <http://hdl.handle.net/11458/2813>.
- JULAICA, S., dewi, a.p. y cintia, u.h., 2019.** application of electrocoagulation methods to reduce bod and cod content in the soft drink industry's wastewater with addition of bittern. *iop conference series: materials science and engineering* [en línea], vol. 462, no. 1, pp. 012033. issn 1757-899x. doi 10.1088/1757-899x/462/1/012033. disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899x/462/1/012033>.
- KILIÇ, Z., 2020.** the importance of water and conscious use of water. *international journal of hydrology* [en línea], vol. 4, no. 5, pp. 239-241. issn 25764454. doi 10.15406/ijh.2020.04.00250. disponible en: <https://medcraveonline.com/ijh/the-importance-of-water-and-conscious-use-of-water.html>.
- LAO, H. y del águila, I., 2019.** *determinación de la eficiencia entre los métodos de electrocoagulación y coagulación química para la remoción de la turbiedad del agua residual doméstica – tarapoto, 2019* [en línea]. s.l.: universidad César Vallejo. disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/41563>.
- LOAYZA, J.I. y cano, p.a., 2015.** *impacto de las actividades antrópicas sobre la calidad del agua de la subcuenca del río Shullcas-Huancayo-Junín*. s.l.: universidad nacional del centro del Perú.
- MAGAÑA, L., rojas, a., gonzález, y. y ojeda, e., 2020.** remoción de contaminantes del residual lácteo por electrocoagulación con electrodos de aluminio. *tecnología química* [en línea], vol. 40, no. 1, pp. 17-34. issn 2224-6185. disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/338412264\\_remocion\\_de\\_contaminantes\\_del\\_residual\\_lacteo\\_por\\_electrocoagulacion\\_con\\_electrodos\\_de\\_aluminio\\_pollutants\\_removal\\_of\\_milky\\_residual\\_by\\_electrocoagulation\\_with\\_aluminum\\_electrodes](https://www.researchgate.net/publication/338412264_remocion_de_contaminantes_del_residual_lacteo_por_electrocoagulacion_con_electrodos_de_aluminio_pollutants_removal_of_milky_residual_by_electrocoagulation_with_aluminum_electrodes).
- MAYTA, R. y mayta, j., 2017.** removal of chromium and chemical oxygen demand of tannery wastewater by electrocoagulation. *revista de la sociedad química del Perú* [en línea], vol. 83, no. 3. disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-)

634X2017000300008&lng=es&nrm=iso&tlng=en.

- MECOLA, N., 2019.** efecto de la electrocoagulación en la concentración de materia orgánica de aguas residuales de la universidad nacional de trujillo. *revista ciencia y tecnología* [en línea], vol. 15, no. 1, pp. 143-147. disponible en: <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/pgm/article/view/2382>.
- MEDINA, A., 2016.** diagnóstico de la cadena productiva de palma aceitera. [en línea]. san martín - perú: disponible en: <http://siar.regionsanmartin.gob.pe/download/file/fid/54980>.
- MELO, O.o., lópez, I.a. y melo, s.e., 2020.** *diseño de experimentos - métodos y aplicaciones* [en línea]. 2. bogotá - colombia: universidad nacional de colombia facultad de ciencias. disponible en: [http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/facultad\\_de\\_ciencias/publicaciones/imagenes/portadas\\_libros/estadistica/disenodeexperimentos.pdf](http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/facultad_de_ciencias/publicaciones/imagenes/portadas_libros/estadistica/disenodeexperimentos.pdf).
- MIHELIC, J. y zimmerman, j., 2006.** *ingeniería ambiental fundamentos, sustentabilidad, di* [en línea]. 1. méxico - méxico: s.n. isbn 9786077073178. disponible en: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahukewi9q5pigq3wahuxstabhrthdssqfjaaegqiaxad&url=http%3a%2f%2fmarina.geologia.uson.mx%2ffacademicos%2fiminjare%2fica%2ferencias%2f220588573\\_ingenieria\\_ambiental\\_fundament](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahukewi9q5pigq3wahuxstabhrthdssqfjaaegqiaxad&url=http%3a%2f%2fmarina.geologia.uson.mx%2ffacademicos%2fiminjare%2fica%2ferencias%2f220588573_ingenieria_ambiental_fundament).
- MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2014.** *guía para el muestreo de suelos*. 2014. lima: s.n. 002-2013-minam. isbn 20553599891.
- MOLLAH, Y., schennach, r., parga, j. y cocke, d., 2000.** electrocoagulation ( ec ) – science and applications. *journal of hazardous materials*, vol. 84, pp. 29-41.
- NIAZMAND, R., jahani, m., sabbagh, f. y rezania, s., 2020.** optimization of electrocoagulation conditions for the purification of table olive debittering wastewater using response surface methodology. *water* [en línea], vol. 12, no. 6, pp. 1687. issn 2073-4441. doi 10.3390/w12061687. disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/6/1687>.
- ORGANISMO DE EVALUACIÓN Y FISCALIZACIÓN AMBIENTAL, 2014.** *fiscalización ambiental en aguas residuales*. 1. lima - perú: s.n.
- PAZ, G.b., 2017.** *metodología de la investigación*. 3. ciudad de méxico - méxico: s.n. isbn 9786077447481.
- PEROZO, J. y abreu, r., 2017.** evaluación de la electrocoagulación en el tratamiento de agua potable. *química viva*, vol. 16, no. 1, pp. 56-69.
- PILAY, L., 2018.** *diseño, construcción y caracterización de un reactor de electrocoagulación tipo batch*. s.l.: escuela politécnica nacional.
- PROGRAMA MUNDIAL DE EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LAS NACIONES UNIDAS, 2017.** *informe mundial de las naciones unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos*. 1. paris - francia: s.n. isbn 9789233000582.

- RAFFO, E. y ruiz, e., 2014.** caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *revista de la facultad de ingeniería industrial*, vol. 17, pp. 11.
- RAMALHO, R., 1983.** *tratamiento de aguas residuales*. 1. méxico: s.n.
- REÁTEGUI, W., tuesta, s., ochoa, c., huamán, j., king, m., estrada, e.f., bulegue-gutierrez, w., yuli-posadas, r.a. y fernández-guzmán, v., 2020.** electrocoagulation in batch mode for the removal of the chemical oxygen demand of an effluent from slaughterhouse wastewater in lima peru: fe and al electrodes. *desalination and water treatment* [en línea], vol. 201, no. january 2020, pp. 206-218. issn 19443986. doi 10.5004/dwt.2020.26175. disponible en: [http://www.deswater.com/dwt\\_abstracts/vol\\_202/202\\_2020\\_206.pdf](http://www.deswater.com/dwt_abstracts/vol_202/202_2020_206.pdf).
- RUMKY, J., tang, w.z. y sillanpää, m., 2020.** statistical analysis of anode efficiency in electrochemical treatment of wastewater and sludge. *environmental processes* [en línea], vol. 7, no. 4, pp. 1041-1064. issn 2198-7491. doi 10.1007/s40710-020-00457-0. disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/s40710-020-00457-0>.
- RUSDIANASARI, Bow, y., syakdani, a. y mayasari, d., 2021.** the effectiveness of electrocoagulation process in rubber wastewater treatment using combination electrodes. *iop conference series: earth and environmental science* [en línea], vol. 709, no. 1. issn 17551315. doi 10.1088/1755-1315/709/1/012009. disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/350364239\\_the\\_effectiveness\\_of\\_electrocoagulation\\_process\\_in\\_rubber\\_wastewater\\_treatment\\_using\\_combination\\_electrodes](https://www.researchgate.net/publication/350364239_the_effectiveness_of_electrocoagulation_process_in_rubber_wastewater_treatment_using_combination_electrodes).
- SAAVEDRA, C. y torres, b., 2019.** *mejora de la calidad de efluentes no domésticos, mediante la aplicación de microorganismos eficientes; en la empresa de camaleros san martín s.a., tarapoto, 2019*. s.l.: universidad cesar vallejo.
- SALCEDO, S. y guzman, l., 2014.** *agricultura familiar en america latina y el caribe*. 1. santiago de chile - chile: s.n. isbn 9789253083640.
- SYAHRO, N., yunus, r., zurina, z., syafiie, s., ramanaidu, v. y rashid, u., 2016.** effect of high pressurized sterilization on oil palm fruit digestion operation. *international food research journal* [en línea], vol. 23, no. 1, pp. 129-134. issn 22317546. disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/291285102\\_effect\\_of\\_high\\_pressurized\\_sterilization\\_on\\_oil\\_palm\\_fruit\\_digestion\\_operation](https://www.researchgate.net/publication/291285102_effect_of_high_pressurized_sterilization_on_oil_palm_fruit_digestion_operation).
- VERA, J., 2016.** *comparación de la coagulación química y la electrocoagulación en la eficiencia de remoción de turbidez de agua del río rímac, 2016*. s.l.: universidad cesar vallejo.


## **ANEXOS**

**Anexo 1. Operacionalización de variables.**

Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Escala de medición
<b>Variable independiente: Sistema de electrocoagulación</b>				
Según Vera (2016), están conformados por un conjunto de elementos que trabajan bajo ciertas condiciones para oxidar compuestos presentes en el agua alterando su polaridad.	La función del sistema de electrocoagulación es desestabilizar las partículas no deseadas que se encuentran en suspensión, emulsionadas o disueltas en el medio acuoso, "induciendo corriente eléctrica mediante placas metálicas paralelas".	Intensidad de corriente eléctrica.	- Voltaje de energía eléctrica	Cuantitativa continua: mA/m <sup>2</sup>
		Tiempo de retención hidráulica.	- T1= 20 - T2= 10	Cuantitativa continua: Minutos
		Temperatura en el sistema de tratamiento.	- Temperatura: ≥ 25 °C.	Cuantitativa continua: mg/L
<b>Variable dependiente: Materia orgánica del agua residual</b>				
Según Mihelcic & Zimmerman (2006), la materia orgánica en una muestra de agua está constituida por el conjunto de compuesto como carbohidratos, proteínas y lípidos que alteran sus propiedades y su naturaleza.	La materia orgánica se evalúa indirectamente en función a ciertos parámetros indicadores como son la DQO, DBO, DBO5, SST, etc.	Valor de la DQO.	Alta y baja concentración.	Cuantitativa continua: mg/L, ppm.
		Valor de la DBO.	Alta y baja concentración.	Cuantitativa continua: mg/L, ppm.
		Valor de SST.	Alta y baja concentración.	Cuantitativa continua: mg/L, ppm.
		Valor de aceites y grasas.	Alta y baja concentración.	Cuantitativa continua: mg/L, ppm.

*Fuente: Elaboración propia, 2021*

Anexo 2. Cadena de custodia.



### CADENA DE CUSTODIA DE TOMA DE MUESTRA DE AGUA

Lab. 10mo. Mi. L. 13 74. 116. Marcapata - Pucallpa - Pasco  
 051-074-4500000 / 074-4500000 / 074-4500000  
 informacion: 074-4500000 - atencioncliente@equas.com.pe

Cliente: <b>BORIS ZAVALA / CARMEN RAQUEL HAZCO SALCEDA</b>			P.T.E. N°: <b>204/21(1)</b>
Procedencia*:			ORDEN DE TRABAJO N°: <b>-</b>
Distrito: <b>TARAPOTO</b>	Provincia: <b>SAN MARTIN</b>	Departamento: <b>SAN MARTIN</b>	CÓDIGO INTERNO N°: <b>LOG77/21</b>
Contacto: <b>BORIS</b>	Teléfono: <b>949497533</b>	Correo: <b>boris_h_26@hotmail.com</b>	

\* Adicional (si aplica) la Dirección (pág. de muestreo) y el nombre del proyecto.

Código de Laboratorio	Código de campo	Fecha	Hora	Matriz (*)	Tipo de muestreo	NT de Envases		Parámetros solicitados																													
						P	NP	Muestreo																													
0677-1	M1	21/05/21	02:00 AM	AR-02	Simple																																
0677-2	M2	21/05/21	02:00 AM	AR-02	Simple																																
0677-3	M3	21/05/21	02:00 AM	AR-02	Simple																																
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> <b>EQUAS S.A. M.E.C</b>  <b>CON OBSERVACIONES</b> </div>																																					
	DM -																																				
	BV -			AP-05	S																																
	BC -			AP-05	S																																
	BE -			AP-05	S																																

Agua Potable	Subsistencia	01-01
	Superficie	01-02
Agua Potable	Comercial	01-03
	Subsistencia	01-04
	Industrial	01-05
Agua Potable	Agua Potable	02-01
Agua de Uso y Consumo Humano	Agua de Uso y Consumo Humano	02-02
	Agua de Consumo	02-03
	Reserva	02-04
	Reserva Industrial	02-05
Agua de Proceso	Controlación y Seguimiento	03-01
	Atención al Cliente	03-02
Agua de Consumo	Agua de Consumo	04-01
	Agua de Consumo	04-02
Agua de Uso	Agua de Uso	05-01
Agua de Uso	Agua de Uso	05-02
	Agua de Uso	05-03

Procedimiento de muestreo: P.MOT.04

Observaciones:

---



---



---

Responsable	Firma	Fecha y Hora
Muestreado por: Cliente	<i>[Firma]</i>	21/05/2021 9:00 AM
Cliente / Campo:		
Recepción en Laboratorio: Heceibel Espinoza E.	<i>[Firma]</i>	22/05/21 07:16h.

Verificación de la recepción de muestras:  
 pH  Cloro  Turbidez  SST

Código: F04-P.COM.02  
 Versión N°: 00  
 Fecha: 17/10/2019

www.equas.com.pe

MEC/MTI/MTL Pág. 1 de 1

Fuente: EQUAS, 2021



### Anexo 3. Resultados de laboratorio de los parámetros de interés (Pag. 1 de 4)



**Environmental Quality Analytical Services S.A.**  
Tecnología al Servicio de la Protección y Saneamiento Ambiental

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO  
POR EL ORGANISMO PERUANO DE  
ACREDITACIÓN INACAL - DA CON  
REGISTRO N° LE - 030



#### INFORME DE ENSAYO N° A0677/21

**Solicitante** : BORIS ZAVALA / CARMEN RAQUEL MACEDO SALDAÑA  
**Dirección** : Tarapoto

**Procedencia** : INDUSTRIA OLPESA S.A.  
Distrito: Tarapoto - Provincia: San Martín  
Departamento: San Martín

**Matriz de la Muestra** : Agua Residual Industrial

Fecha de Muestreo : 20 al 21 - Mayo - 2021  
Responsable del Muestreo : Personal Técnico - Empresa Solicitante

Fecha y Hora de Recepción : 22 - Mayo - 2021 / 07:16 h  
Fecha de Ejecución del Ensayo : 22 al 28 - Mayo - 2021

Código Interno: L0677/21

PARÁMETROS	0677 - 1 <sup>(a)</sup>	0677 - 2 <sup>(a)</sup>	0677 - 3 <sup>(a)</sup>	Expresado en:	MÉTODOS DE ENSAYO
	M 1 <sup>(a)</sup> (10:00 h)	M 2 <sup>(a)</sup> (07:00 h)	M 3 <sup>(a)</sup> (08:00 h)		
Aceites y Grasas	66,5	37,0	12,5	mg/L	APHA 5520 D
Conductividad Eléctrica	6 780,00	1 254,00	625,00	µmho/cm	APHA 2510 B
Demanda Bioquímica de Oxígeno	2 385	952	593	mg DBO/L	APHA 5210 B
Demanda Química de Oxígeno	6 517	1 250	787	mg DQO/L	APHA 5220 D
Sólidos Totales Suspendidos	14 910	3 524	2 120	mg/L	APHA 2540 D
Turbidez	986,00	658,00	254,00	NTU	APHA 2130 B
pH	4,17	4,17	4,18	Unidad de pH	APHA 4500-H <sup>+</sup> B <sup>(**)</sup> (*)

(<sup>a</sup>) Código de Laboratorio

(<sup>a</sup>) Código del Solicitante y hora de muestreo

**REFERENCIA DE MÉTODOS ANALÍTICOS. -**

- STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 23 rd Ed. APHA, AWWA WEF, 2017.
- (\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

**ESTADO Y CONDICIÓN DE LA MUESTRA. -**

- (\*\*\*) Los resultados de pH son referenciales, porque no cumplen con los requisitos de control de calidad. Se efectuó el análisis a solicitud del cliente.

Lima, 28 de Mayo de 2021.

**EQUAS S.A.**  
*Eusebio Victor Córdor Evaristo*  
Ing. Eusebio Victor Córdor Evaristo  
Gerente General



Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización del Gerente General – EQUAS S.A.

Los resultados obtenidos se refieren solamente a las muestras ensayadas.

Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El laboratorio mantendrá en custodia por 30 días, la muestra dirimente para los ensayos de metales, la solicitud de dirimencia ante la comisión debe realizarse diez días útiles antes de su vencimiento.

Código: F01-P.DIR.04  
Revisión: 00  
Fecha: 17-10-2019

Dirección de Laboratorio: Mz.I Lote 74, Urb.Naranjito – Puente Piedra, alt. del Km.28,5 de la Pan. Norte  
Teléfonos: 548-4976 / 349-4050 e\_mail: info@equas.com.pe

Página 1 de 4

Fuente: Copia del documento original, 2021.

### Anexo 3. Resultados de laboratorio de los parámetros de interés (Pag. 2 de 4)



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO  
POR EL ORGANISMO PERUANO DE  
ACREDITACIÓN INACAL - DA CON  
REGISTRO N° LE - 030



#### INFORME DE ENSAYO N° A0677/21

**Solicitante** : BORIS ZAVALA / CARMEN RAQUEL MACEDO SALDAÑA  
**Dirección** : Tarapoto

**Procedencia** : INDUSTRIA OLPESA S.A.  
**Distrito:** Tarapoto - **Provincia:** San Martín  
**Departamento:** San Martín

**Matriz de la Muestra** : Agua Residual Industrial

Fecha de Muestreo : 20 al 21 - Mayo - 2021  
Responsable del Muestreo : Personal Técnico - Empresa Solicitante

Fecha y Hora de Recepción : 22 - Mayo - 2 021 / 07:16 h  
Fecha de Ejecución del Ensayo : 22 al 28 - Mayo - 2021

Código Interno: L0677/21

PARÁMETROS	0677 - 2 <sup>(a)</sup>	0677 - 3 <sup>(a)</sup>	Expresado en:	MÉTODOS DE ENSAYO
	M 4 <sup>(a)</sup> (07:00 h)	M 5 <sup>(a)</sup> (08:00 h)		
Aceites y Grasas	11,2	9,0	mg/L	APHA 5520 D
Conductividad Eléctrica	512,00	424,00	µmho/cm	APHA 2510 B
Demanda Bioquímica de Oxígeno	204	150	mg DBO/L	APHA 5210 B
Demanda Química de Oxígeno	302	174	mg DQO/L	APHA 5220 D
Sólidos Totales Suspendidos	1 354	1 160	mg/L	APHA 2540 D
Turbidez	158,00	102,00	NTU	APHA 2130 B
pH	4,18	4,22	Unidad de pH	APHA 4500-H <sup>+</sup> B (***) (*)

<sup>(a)</sup> Código de Laboratorio

<sup>(a)</sup> Código del Solicitante y hora de muestreo

**REFERENCIA DE MÉTODOS ANALÍTICOS. -**

- STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 23 rd Ed. APHA, AWWA WEF, 2017.
- (\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

**ESTADO Y CONDICIÓN DE LA MUESTRA. -**

- (\*\*\*) Los resultados de pH son referenciales, porque no cumplen con los requisitos de control de calidad. Se efectuó el análisis a solicitud del cliente.

Lima, 28 de Mayo de 2 021.

**EQUAS S.A.**  
*Eusebio Victor Córdor Evaristo*  
Ing. Eusebio Victor Córdor Evaristo  
Gerente General



Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización del Gerente General – EQUAS S.A.

Los resultados obtenidos se refieren solamente a las muestras ensayadas.

Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El laboratorio mantendrá en custodia por 30 días, la muestra dirimente para los ensayos de metales, la solicitud de dirimencia ante la comisión debe realizarse diez días útiles antes de su vencimiento.

Código: F01-P.DIR.04  
Revisión: 00  
Fecha: 17-10-2 019

Dirección de Laboratorio: Mz.I Lote 74, Urb.Naranjito – Puente Piedra, alt. del Km.28,5 de la Pan. Norte  
Teléfonos: 548-4976 / 349-4050 e\_mail: info@equas.com.pe

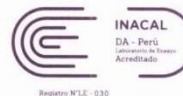
Página 2 de 4

Fuente: Copia del documento original, 2021.

### Anexo 3. Resultados de laboratorio de los parámetros de interés (Pag. 3 de 4)



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO  
POR EL ORGANISMO PERUANO DE  
ACREDITACIÓN INACAL - DA CON  
REGISTRO N° LE - 030



#### INFORME DE ENSAYO N° A0677/21

**Solicitante** : BORIS ZAVALA / CARMEN RAQUEL MACEDO SALDAÑA  
**Dirección** : Tarapoto

**Procedencia** : INDUSTRIA OLPESA S.A.  
**Distrito:** Tarapoto - **Provincia:** San Martín  
**Departamento:** San Martín

**Matriz de la Muestra** : Agua Residual Industrial

**Fecha de Muestreo** : 20 al 21 - Mayo - 2021  
**Responsable del Muestreo** : Personal Técnico - Empresa Solicitante

**Fecha y Hora de Recepción** : 22 - Mayo - 2021 / 07:16 h  
**Fecha de Ejecución del Ensayo** : 22 al 28 - Mayo - 2021

Código Interno: L0677/21

PARÁMETROS	0677 - 1 <sup>(b)</sup>	0677 - 2 <sup>(b)</sup>	Expresado en:	MÉTODOS DE ENSAYO
	M 1 <sup>(b)</sup> (07:00 h)	M 2 <sup>(b)</sup> (08:00 h)		
Aceites y Grasas	42,50	15,0	mg/L	APHA 5520 D
Conductividad Eléctrica	2 321,00	984,00	µmho/cm	APHA 2510 B
Demanda Bioquímica de Oxígeno	1 452	754	mg DBO/L	APHA 5210 B
Demanda Química de Oxígeno	2 510	1 421	mg DQO/L	APHA 5220 D
Sólidos Totales Suspendidos	8 525	5 211	mg/L	APHA 2540 D
Turbidez	741,00	411,00	NTU	APHA 2130 B
pH	4,17	4,16	Unidad de pH	APHA 4500-H* B (***) (*)

(<sup>a</sup>) Código de Laboratorio

(<sup>b</sup>) Código del Solicitante y hora de muestreo

**REFERENCIA DE MÉTODOS ANALÍTICOS. -**

- STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 23 rd Ed. APHA, AWWA WEF, 2017.
- (\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

**ESTADO Y CONDICIÓN DE LA MUESTRA. -**

- (\*\*\*) Los resultados de pH son referenciales, porque no cumplen con los requisitos de control de calidad. Se efectuó el análisis a solicitud del cliente.

Lima, 28 de Mayo de 2021.

**EQUAS S.A.**  
*Eusebio Víctor Córdor Evaristo*  
Ing. Eusebio Víctor Córdor Evaristo  
Gerente General



Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización del Gerente General – EQUAS S.A.

Los resultados obtenidos se refieren solamente a las muestras ensayadas.

Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El laboratorio mantendrá en custodia por 30 días, la muestra dirimente para los ensayos de metales, la solicitud de dirimencia ante la comisión debe realizarse diez días útiles antes de su vencimiento.

Código: F01-P.DIR.04  
Revisión: 00  
Fecha.: 17-10-2019

Dirección de Laboratorio: Mz.I Lote 74, Urb.Naranjito – Puente Piedra, alt. del Km.28,5 de la Pan. Norte  
Teléfonos: 548-4976 / 349-4050 e\_mail: info@equas.com.pe

Página 3 de 4

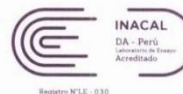
Fuente: Copia del documento original, 2021.

### Anexo 3. Resultados de laboratorio de los parámetros de interés (Pag. 4 de 4)



**Environmental Quality Analytical Services S.A.**  
Tecnología al Servicio de la Protección y Saneamiento Ambiental

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO  
POR EL ORGANISMO PERUANO DE  
ACREDITACIÓN INACAL - DA CON  
REGISTRO N° LE - 030



#### INFORME DE ENSAYO N° A0677/21

**Solicitante** : BORIS ZAVALA / CARMEN RAQUEL MACEDO SALDAÑA  
**Dirección** : Tarapoto

**Procedencia** : INDUSTRIA OLPESA S.A.  
Distrito: Tarapoto - Provincia: San Martín  
Departamento: San Martín

**Matriz de la Muestra** : Agua Residual Industrial

Fecha de Muestreo : 20 al 21 - Mayo - 2021  
Responsable del Muestreo : Personal Técnico - Empresa Solicitante

Fecha y Hora de Recepción : 22 - Mayo - 2 021 / 07:16 h  
Fecha de Ejecución del Ensayo : 22 al 28 - Mayo - 2021

Código Interno: L0677/21

PARÁMETROS	0677 - 3 <sup>(b)</sup>	0677 - 4 <sup>(b)</sup>	Expresado en:	MÉTODOS DE ENSAYO
	M 3 <sup>(b)</sup> (07:00 h)	M 4 <sup>(b)</sup> (08:00 h)		
Aceites y Grasas	17,6	12,4	mg/L	APHA 5520 D
Conductividad Eléctrica	912,00	641,00	µmho/cm	APHA 2510 B
Demanda Bioquímica de Oxígeno	351	150	mg DBO/L	APHA 5210 B
Demanda Química de Oxígeno	414	210	mg DQO/L	APHA 5220 D
Sólidos Totales Suspendidos	1 455	1 285	mg/L	APHA 2540 D
Turbidez	258,00	187,00	NTU	APHA 2130 B
pH	4,15	4,15	Unidad de pH	APHA 4500-H* B (***) (*)

(<sup>b</sup>) Código de Laboratorio

(<sup>b</sup>) Código del Solicitante y hora de muestreo

**REFERENCIA DE MÉTODOS ANALÍTICOS. -**

- STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 23 rd Ed. APHA, AWWA WEF, 2017.
- (\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA

**ESTADO Y CONDICIÓN DE LA MUESTRA. -**

- (\*\*\*) Los resultados de pH son referenciales, porque no cumplen con los requisitos de control de calidad. Se efectuó el análisis a solicitud del cliente.

Lima, 28 de Mayo de 2 021.

**EQUAS S.A.**  
Ing. Eusebio Victor Córdor Evaristo  
Gerente General



Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización del Gerente General – EQUAS S.A.

Los resultados obtenidos se refieren solamente a las muestras ensayadas.

Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El laboratorio mantendrá en custodia por 30 días, la muestra dirimente para los ensayos de metales, la solicitud de dirimencia ante la comisión debe realizarse diez días útiles antes de su vencimiento.

Código: F01-P.DIR.04  
Revisión: 00  
Fecha: 17-10-2 019

Dirección de Laboratorio: Mz.I Lote 74, Urb.Naranjito – Puente Piedra, alt. del Km.28,5 de la Pan. Norte  
Teléfonos: 548-4976 / 349-4050 e\_mail: info@equas.com.pe

Página 4 de 4

Fuente: Copia del documento original, 2021.

**Anexo 4. Panel fotográfico como evidencia de las actividades desarrolladas.**



**Muestreo de agua residual industrial de la extracción de aceite de palma aceitera.**  
*Fuente: Elaboración propia, 2021.*



**Adición del conservante para el análisis del parámetro aceites y grasas.**  
*Fuente: Elaboración propia, 2021.*



**Cabezal con electrodos de aluminio utilizado en el ensayo.**

*Fuente: Elaboración propia, 2021.*



**Cabezal con electrodos de cobre utilizado en el ensayo.**

*Fuente: Elaboración propia, 2021.*



**Muestra de agua residual industrial para el análisis de laboratorio.**  
*Fuente: Elaboración propia, 2021.*



**Muestra de agua residual industrial post electrocoagulación (electrodos de Al).**  
*Fuente: Elaboración propia, 2021.*



**Muestra de agua residual industrial post electrocoagulación (electrodos de Cu).**  
*Fuente: Elaboración propia, 2021.*



**Alícuotas obtenidas tras el proceso de electrocoagulación.**  
*Fuente: Elaboración propia, 2021.*