



Universidad César Vallejo

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Comparación de los Métodos de Tratamiento Biológico y  
Fisicoquímico para la Reducción del DBO Generado en Efluentes de  
Plantas Extractoras de Aceite de Palma (POME): Revisión  
sistemática**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AMBIENTAL

**AUTORES:**

Pelaez Urbano, Liliana Carolina (ORCID: 0000 0001 5138 4962)  
Tristan Arroyo, Jimmie Carlos Alberto (ORCID: 0000 0001 8306 1973)

**ASESOR:**

Dr. Lozano Sulca, Yimi Tom (ORCID: 0000 0002 0803 1261)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA – PERÚ

2022

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto es dedicado a nuestros hijos por ser el motor de nuestras vidas y nuestros padres por ser el pilar fundamental en todo lo que somos, en toda nuestra educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo. Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

## **AGRADECIMIENTO**

Queremos agradecer a nuestro asesor Yimi Tom Lozano Sulca, quien se empeñó en lograr que entraran sus enseñanzas, a nuestros amigos, quienes siempre nos alentaron a la realización de nuestro proyecto. Sé que estas palabras no son suficientes para expresar nuestro agradecimiento, pero espero que, con ellas, se den a entender nuestros sentimientos de aprecio y cariño a todos ellos.

## Índice de contenido

Carátula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos .....	iii
Índice de contenido.....	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de gráficos .....	vi
Índice de figuras.....	vii
Resumen .....	viii
Abstract.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	4
III. METODOLOGÍA .....	14
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	14
3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización.....	14
3.3. Escenario de estudio .....	16
3.4. Participantes.....	16
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	16
3.6. Procedimiento.....	16
3.7. Rigor científico.....	18
3.8. Método de análisis de información .....	18
3.9. Aspectos éticos .....	19
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
V. CONCLUSIONES.....	30
VI. RECOMENDACIONES .....	31
REFERENCIAS	

## Índice de tablas

<i>Tabla 1. Otra aplicación de la biomasa de palma aceitera</i> _____	4
<i>Tabla 2. Composición de los productos y/o residuos generados de la producción de aceite de palma</i> _____	6
<i>Tabla 3. Matriz de Categorización Apriorística</i> _____	15
<i>Tabla 4. Método de tratamiento biológico y fisicoquímico</i> _____	20
<i>Tabla 5. Ventajas y desventajas de los métodos de tratamiento biológico y fisicoquímico</i> _____	23
<i>Tabla 6. Porcentaje de la eficiencia de remoción comparativa de los métodos de tratamiento biológico y fisicoquímico</i> _____	26

## Índice de gráficos

<i>Gráfico 1. Procedimientos de selección de artículos al estudio</i> _____	17
<i>Gráfico 2. Porcentaje de los estudios aplicados los métodos de tratamiento biológico y fisicoquímico</i> _____	21

## Índice de figuras

<i>Figura 1. Vertidos de POME</i> .....	7
<i>Figura 2. Sistema de tratamiento integrado que incorporó un sistema secuencial anaeróbico-aeróbico-de humedales (AAWSS) y un secador convectivo de lodos (CSD)</i> .....	9

## Resumen

El presente estudio tuvo una metodología de tipo aplicada; ya que, con él nos permitió realizar la búsqueda y análisis de 68 artículos científicos a nivel mundial, añadiendo al estudio 23 los cuales cumplieron con los criterios planteados y los cuales nos permitieron obtener los siguientes puntos:

El tipo de método de tratamiento biológico y fisicoquímico más usado son los tratamientos fisicoquímicos los más usados en comparación con los tratamientos biológicos, además, entre los tratamientos fisicoquímicos, los métodos de adsorción son los que más se aplican en un 30% del total, seguido de los procesos de oxidación avanzada en un 22%. Las ventajas y desventajas de los métodos de tratamiento biológico y fisicoquímico con respecto a los tratamientos fisicoquímicos es que a pesar de las desventajas que pueda presentar es crucial para que el efluente sea descargado en la corriente de agua a diferencia de los tratamientos biológicos. De acuerdo al porcentaje de la eficiencia de remoción comparativa de los métodos de tratamiento biológico y fisicoquímico, se tiene que los tratamientos fisicoquímicos presentan mayores porcentajes de la eficiencia de remoción; ya que, presentan porcentajes de eliminación del DQO en rangos de 70 al 100% a diferencia de los tratamientos biológicos.

**Palabras claves:** tratamiento biológico, tratamiento fisicoquímico, efluentes de aceite de palma, planta extractora.



## **Abstract**

The present study had an applied methodology, since it allowed us to search and analyze 68 scientific articles worldwide, adding to the study 23 that met the criteria established and which allowed us to obtain the following points:

The type of biological and physicochemical treatment method most used are the physicochemical treatments the most used compared to biological treatments, in addition, among the physicochemical treatments, adsorption methods are the most applied in 30% of the total, followed by advanced oxidation processes in 22%. The advantages and disadvantages of biological and physicochemical treatment methods with respect to physicochemical treatments is that despite the disadvantages it may present, it is crucial for the effluent to be discharged into the water stream unlike biological treatments. According to the percentage of the comparative removal efficiency of the biological and physicochemical treatment methods, it is found that the physicochemical treatments present higher percentages of removal efficiency, since they present COD removal percentages in the range of 70 to 100%, unlike the biological treatments.

**Key words:** biological treatment, physicochemical treatment, palm oil effluents, extraction plant.

# I. INTRODUCCIÓN

Si bien la industria de la palma aceitera ha sido reconocida por su contribución al crecimiento económico y al rápido desarrollo, también ha contribuido a la contaminación ambiental debido a la producción de grandes cantidades de subproductos del proceso de extracción del aceite (Darajeh N. et al., 2016, p.343).

Numerosos problemas relacionados con los efluentes de las plantas extractoras de aceite de palma (POME), como la liberación de un alto nivel de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y otros contaminantes en el medio ambiente, han generado una gran preocupación pública (Lokman N. et al., 2020, p.1).

Una gran cantidad de agua necesaria durante el proceso de producción genera una gran cantidad de aguas residuales llamadas efluentes del molino de aceite de palma (POME) (Ratnasari et al., 2022, p.1).

El tratamiento de estas aguas residuales es difícil debido a las importantes variaciones en su volumen y a las altas concentraciones de materia orgánica (Zaied et al., 2020, p.1).

El Departamento de Medio Ambiente (DOE) ha implementado leyes más estrictas sobre la descarga final de POME, por lo que la DBO debe ser inferior a 20 mg L<sup>-1</sup>. Se puede lograr un valor más bajo de DBO mejorando los métodos de tratamiento tanto biológicos como fisicoquímicos para POME (Lokman N. et al., 2020, p.1).

El sistema de tratamiento convencional para este tipo de aguas residuales, por ejemplo, los sistemas de estanques aeróbicos y anaeróbicos, tiene muchas debilidades, como requerir un tiempo de tratamiento prolongado, monitoreo y mantenimiento regular (Nasrullah et al., 2019, p.1).

Para atender este problema, este estudio desarrolla un sistema integrado de electrocoagulación fotovoltaica en el tratamiento de efluentes de molinos de palma aceitera (POME). Este sistema ha logrado reducir 23.837 mg/L de demanda química de oxígeno (DQO) y 15.153 mg/L de demanda biológica de oxígeno (DBO) en 8 h (Mohamad Z et al., 2022, p.578).

Se encontró que la mayor radiación solar recolectada por la energía fotovoltaica produce una mayor intensidad de corriente, lo que a su vez genera más coagulantes

in situ en las aguas residuales; además, esto se relaciona con la importancia de la reducción de DQO y DBO de 150 a 390 min, donde las intensidades de corriente están en el rango máximo (entre 153 y 181 mA) (Mohamad Z et al., 2022, p.578).

Ante lo mencionado anteriormente se plantea como problema de estudio: **¿Cuáles son los aspectos más relevantes del uso de métodos de tratamiento biológico y fisicoquímico para la reducción del DBO generado en efluentes de plantas extractoras de aceite de palma (POME)?**, de lo cual se elaboraron las siguientes preguntas:

**PE1:** ¿Cuál es el tipo de método de tratamiento biológico y fisicoquímico más usado para la reducción del DBO generado en efluentes de plantas extractoras de aceite de palma (POME)?

**PE2:** ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de los métodos de tratamiento biológico y fisicoquímico para la reducción del DBO generado en efluentes de plantas extractoras de aceite de palma (POME)?

**PE3:** ¿Cuál es el porcentaje de la eficiencia de remoción comparativa de los métodos de tratamiento biológico y fisicoquímico para la reducción del DBO generado en efluentes de plantas extractoras de aceite de palma (POME)?

A causa de ello se genera el problema de estudio, **Detallar cuáles son los aspectos más relevantes del uso de métodos de tratamiento biológico y fisicoquímico para la reducción del DBO generado en efluentes de plantas extractoras de aceite de palma (POME)**; y como objetivos específicos:

**OE1:** Clasificar cuál es el tipo de método de tratamiento biológico y fisicoquímico más usado para la reducción del DBO generado en efluentes de plantas extractoras de aceite de palma (POME)

**OE2:** Describir cuáles son las ventajas y desventajas de los métodos de tratamiento biológico y fisicoquímico para la reducción del DBO generado en efluentes de plantas extractoras de aceite de palma (POME)

**OE3:** Definir cuál es el porcentaje de la eficiencia de remoción comparativa de los métodos de tratamiento biológico y fisicoquímico para la reducción del DBO generado en efluentes de plantas extractoras de aceite de palma (POME)

El presente trabajo de investigación presenta una justificación teórica, ya que busca recolectar información actualizada de los Métodos de Tratamiento Biológico y Fisicoquímico buscando contribuir de manera académica, y así poder ampliar el estudio para otros campos, así mismo contribuir con la sociedad con las limitaciones futuras reducción el DBO generado en efluentes de plantas extractoras de aceite de Palma.

## II. MARCO TEÓRICO

En la actualidad, la industria de la palma aceitera se ha convertido en uno de los principales contribuyentes a la economía en diversas partes del mundo (López Carmen E. et al., 2016, p.1).

La palma aceitera, conocida científicamente como *Elaeis guineensis*, es originaria de África Occidental y se ha extendido a Malasia, Indonesia y Tailandia. En comparación con otras plantas, la palma aceitera es uno de los productos agrícolas razonablemente intercambiables que se generan a partir del aceite de palma crudo (CPO) (Nambiappan Balu et al., 2018, p.2). Donde, su aspecto la hacía apta para ser utilizada como planta ornamental, pero se sentaron las bases para el desarrollo de la industria del aceite de palma de Malasia (Kumar Karthigayen S., 2016, p.2). Así también la biomasa de palma aceitera se puede utilizar casi en su totalidad, no solo en biocompuestos sino también en otras aplicaciones. Como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla N°1.** Otra aplicación de la biomasa de palma aceitera

<b>Biomasa de palma aceitera</b>	<b>Productos de aplicación</b>
Hojas de palma aceitera	Ruminen alimento/ensilaje
Tronco de palma aceitera	Producción de azúcar
Racimos de fruta vacíos	Mantillo orgánico
	Generación eléctrica
	Biocombustible
	Compuesto híbrido
Ceniza de palma aceitera	Adsorbente para gas de azufre
	Reemplazo de cemento
Cáscara de palma de aceite	Filtrar
	Carbón activo

*Fuente: Khalil H. et al., (2016)*

Como se observa en la tabla 1, los investigadores han desarrollado alimentos/ensilaje de rumen, filtros y adsorbentes a partir de la cáscara de la palma aceitera; producción de azúcar a partir del tronco de la palma aceitera; mantillo orgánico, generación de

electricidad, biocombustible y compuesto híbrido de EFB; adsorbente para gas sulfuroso y reemplazo de cemento de OPA; filtro y carbón activo de cáscara de palma aceitera; y también materia prima animal de torta de palmiste. La combinación de propiedades mecánicas y físicas junto con la naturaleza ecológica de la pertenencia ha provocado que muchos sectores industriales y de investigación, en particular las industrias utilicen la palma aceitera.

Es así que la gran versatilidad de la palma aceitera lo ha convertido en uno de los más demandados a nivel mundial (Levang Patrice et al., 2016, p.2). No obstante, el 77 % del aceite de palma producido en todo el mundo se consume como alimento y el 23 % restante se utiliza en la fabricación de biodiésel, medicamentos, cosméticos, abrillantadores y detergentes (Nesaretnam K. et al., 2017, p.1).

Además, el aceite de palma es uno de los principales productos básicos entre los países del tercer mundo en el sudeste asiático; siendo que, recientemente, el 28% de la producción mundial de aceite de palma procede de Malasia y el 33% de las exportaciones mundiales (Macarthur R. et al., 2020, p.1). Además, la creciente demanda mundial de aceite de palma, Tailandia, Colombia, Nigeria, Papúa Nueva Guinea, Ecuador y Ghana también están emergiendo gradualmente como contribuyentes de aceite de palma (Dongho D. et al., 2017, p.3).

En todo el mundo, el CPO se extrae por métodos industriales, semi-industriales o tradicionales y el sector no industrial representa alrededor del 30% de la producción total (Shahida S. et al., 2019, p.2). Los métodos tradicionales son empleados por personas que tienen poco o ningún conocimiento de las técnicas modernas de producción aséptica ni de las implicaciones microbiológicas de los saneamientos y los métodos de almacenamiento deficientes (Iskandar M., 2018, p.4).

Por tal motivo, el aceite de palma es propenso a la contaminación por POME; siendo una estimación que por cada tonelada de producción de CPO se genera unos 2,5-3,0 m<sup>3</sup> de POME (Mahmod Safa S. et al., 2021, p.2). La eliminación de los residuos de POME es uno de los principales problemas económicos a los que se enfrentan los ciudadanos y las industrias, ya que la transformación del CPO en sus productos finales plantea importantes problemas medioambientales (Scanes Colin G., et al., 2018, p.1).

POME es el residuo líquido del proceso de molienda de aceite de palma que aporta la mayor parte de todos los residuos generados en el proceso de extracción de racimos de fruta fresca (FFB) (Ver tabla 2).

**Tabla N°2.** *Composición de los productos y/o residuos generados de la producción de aceite de palma*

<b>Productos/residuos</b>	<b>Porcentaje en peso de composición RFF en base seca (%)</b>
<b>Aceite de palma</b>	21
<b>De almendra de palma</b>	7
<b>Fibra</b>	15
<b>Cáscara</b>	6
<b>Racimo de fruta vacío (EFB)</b>	23
<b>POME</b>	28

*Fuente: Yap C. et al., (2021)*

Como se puede observar en la tabla 2, en el proceso de elaboración de aceite de palma los mayores residuos que se generan son el POME con un 28% de peso seco.

Así mismo, la textura típica de POME uno de los principales productos generados en el proceso de elaboración de aceite de palma es una suspensión espesa, pardusca y coloidal de agua procedente de la trituración del mesocarpio del fruto de la palma (Letti Luiz A. et al., 2021, p.235). El color marrón negruzco de POME se debe a la presencia de tanino, lignina, ácido húmico y componentes similares al ácido fúlvico (Blanco V. et al., 2019, p.3).

Además, el POME, presenta un olor ofensivo desagradable y distinto; comprende agua (95 %–96 %), sólidos totales (4 %–5 %; incluido el 2 % de sólidos en suspensión) y aceite (0,6 %–0,7 %) (Chan Yi et al., 2018, p.3). Así mismo, el POME crudo es un líquido espeso de color marrón que se descarga a una temperatura entre 80 y 90 °C, que tiene bastante acidez con un pH bajo que oscila entre 4,0 y 5,0 (atribuible a los ácidos grasos orgánicos y libres), la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO) en el POME están en el rango de 10.250-43.750 mg/L y 15.000-100.000 mg/L, alto contenido de sal, y altos sólidos en suspensión (5.000-54.000 mg/L) (Lee et al., 2019, p.3).

También, el POME contiene diferentes metales pesados en niveles críticos como el hierro (Fe), el zinc (Zn) y el manganeso (Mn) (Ohimain Elijah I. y Sylvester C., 2017, p.4).

Debido a las diferentes etapas del proceso de extracción del aceite de palma se generan varios tipos de subproductos residuales, incluidos los residuos sólidos, como la cáscara de palma aceitera (OPS), las fibras, los racimos de fruta vacíos (EFB), el clinker de aceite de palma (POC) y las cenizas de combustible de aceite de palma (POFA) (Gopalakrishnan B. et al., 2019, p.11). Siendo considerado el efluente de la almazara de palma (POME), el contaminante más importante en forma de aguas residuales, que, si no se gestiona adecuadamente, podría tener un impacto desastroso en el medio ambiente (Ver figura 1).

**Figura N°1. Vertidos de POME**



*Fuente: Tabassum S. et al., (2016)*

Así también, las características de POME producido a partir de cada fuente separada nos permiten inferir que la descarga directa de POME causará un efecto perjudicial para el medio ambiente (Bundhoo M. et al., 2016, p.5).



Esto puede deberse a sus características altamente contaminantes, especialmente en Malasia, donde se produjeron aproximadamente 19 millones de toneladas de POME en 2019 en función del hecho de que se están generando 3 toneladas de POME a partir de una tonelada de APC producido en las plantas extractoras de aceite de palma (Yap C. et al., 2021, p.7). Y cada tonelada de aceite de palma crudo procesado generaría alrededor de 3,05 toneladas de estas aguas residuales conocidas como (POME); considerándose una fuente importante de contaminación del agua para la industria (Zainal Nahrul H. et al., 2018, p.1).

Debido a la rápida expansión de la industria del aceite de palma se representa una amenaza potencial para el medio ambiente terrestre y los ecosistemas acuáticos, ya la descarga de los grandes volúmenes y diversas formas de sustancias de desecho sólidas y líquidas como subproductos podría ser responsable de una disminución significativa de la diversidad del plancton y de trastornos fisiológicos y reproductivos en los peces (Charles A. y Cheng C., 2019, p.2). Además, la exposición a POME ha provocado una alteración del rendimiento del hígado de los peces que puede señalarse por una reducción del valor del índice hepatosomático y un cambio histopatológico en el tejido hepático (Zulfahmi Ilham et al., 2017, p.3).

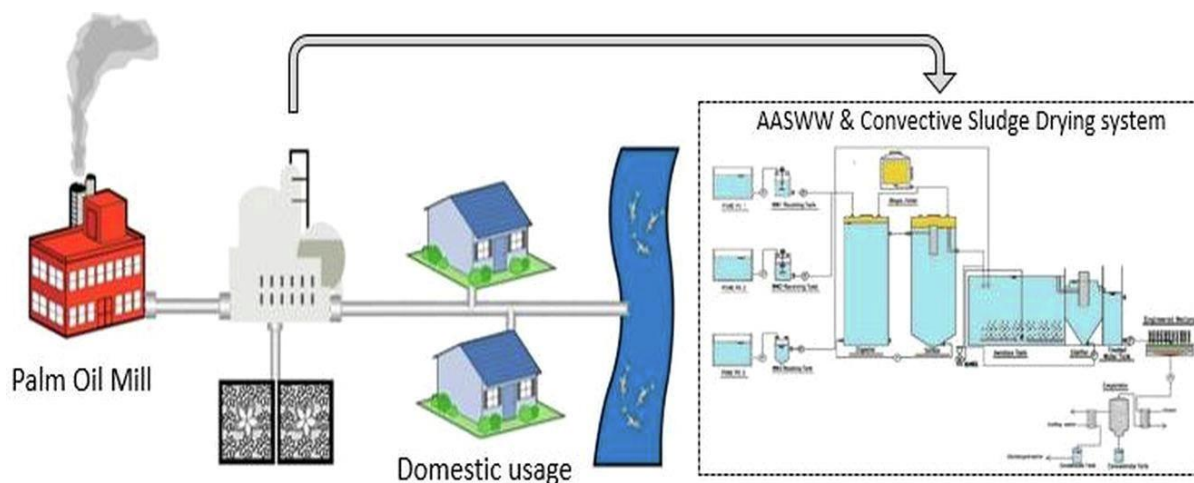
Por tal motivo se tiene la necesidad de desarrollar y aplicar métodos que resuelvan este problema, sin embargo, hasta la fecha, no se han revisado los métodos recientes de tratamiento de POME, especialmente en la reducción de la DBO (Zulfahmi Ilham et al., 2018, p.2).

Pero, entre los métodos de tratamiento alternativos para POME, se tiene la aplicación de tecnologías físicas, químicas y biológicas (Bajpai P., 2017, p.2). Siendo así que la tecnología biológica puede ser mediante los tratamientos anaeróbico, el tratamiento aeróbico y los estanques facultativos, la fitorremediación, entre otros (Muliari M. y Zulfahmi I., 2016, p.1). Ya que, el proceso de tratamiento biológico aeróbico sigue siendo ampliamente utilizado para tratar las aguas residuales orgánicas y evitar la acumulación de materias orgánicas de los efluentes iniciales clarificados y tratados biológicamente (Fulazzaky M. et al., 2018, p.2).

Mediante el uso de bacterias heterótrofas, las sustancias orgánicas biodegradables se hidrolizan y se transforman en dióxido de carbono, agua y biomasa activa (Dotro G. et al., 2017, p.3).

Por otro lado, la integración de las tecnologías de tratamiento biológico y físico apropiadas también pueden incluir a digestión anaeróbica-aeróbica, como es el caso de los humedales, de ingeniería y la evaporación. (Ver figura 2)

**Figura N°2.** Sistema de tratamiento integrado que incorporó un sistema secuencial anaeróbico-aeróbico-de humedales (AAWSS) y un secador convectivo de lodos (CSD)



*Fuente: Farid M. et al., (2019)*

Como se observa en la figura 2 se muestra un sistema de tratamiento integrado que incorporó un sistema secuencial anaeróbico-aeróbico-de humedales (AAWSS) y un secador convectivo de lodos (CSD) para tratar el efluente altamente contaminante de la planta de aceite de palma (POME) en un período de retención más corto y con un requisito de área más pequeño.

Además, generalmente, las aguas residuales con bajo nivel de DBO (menos de 300 mg L<sup>-1</sup>) pueden ser tratadas eficazmente utilizando el sistema aeróbico, mientras que las aguas residuales con alto nivel de DBO (más de 300 mg L<sup>-1</sup>) pueden ser tratadas utilizando el sistema anaeróbico (Daud M. et al., 2018, p.1).

De manera que se demuestre los estudios a analizar a nivel mundial se detallan a continuación los 10 antecedentes más resaltantes:

Zainal Nahrul H. et al., (2017); este estudio evalúa el desarrollo de tratamientos de pulido para la descarga final de POME y analiza más a fondo la aplicación de carbón activado a base de palma para el sistema de tratamiento. En conclusión, el sistema

de integración del tratamiento POME convencional con bioadsorbentes podría considerarse como un enfoque sostenible, resolviendo así los problemas ambientales de eliminación de desechos y control de la contaminación para la industria de la palma aceitera. En conclusión, el sistema de integración del tratamiento POME convencional con bioadsorbentes podría considerarse como un enfoque sostenible, resolviendo así los problemas ambientales de eliminación de desechos y control de la contaminación para la industria de la palma aceitera.

Abdurahman N. et al., (2016); Este estudio se centró principalmente en la producción de metano ( $\text{CH}_4$ ) a partir de efluentes de molinos de aceite de palma (POME) mediante el uso de Ultrasonic Membrane Anaerobic System (UMAS). Se aplicó el diseño del reactor anaeróbico para diseñar el trabajo experimental que fue un digestor de 100 L de volumen del Sistema Anaeróbico de Membrana Ultrasónica (UMAS). Se estudiaron los parámetros de UMAS como DQO, DBO, pH, SST y VSS. El reactor se hizo funcionar a temperatura ambiente dentro del rango de  $\sim 30$  a  $35$  °C. La cantidad de gas metano obtenido fue de alrededor del 92 %. El contenido de DQO se puede reducir hasta en un 87,22 % del original mediante un tratamiento completo. La mezcla de gases de metano y dióxido de carbono producidos se recogió utilizando una jeringa. Se llenó la jeringa con NaOH o KOH para adsorber el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) del gas metano.

Aznury Martha et al., (2018); El propósito de esta investigación es determinar la producción óptima de biogás producido a partir del equipo digestor de modificación en forma de pirámide tuncada en el tanque de sedimentación y vigas en forma en el lote de fermentación del tanque. Tanque de sedimentación en forma de pirámide que tiene como objetivo un proceso de deposición óptimo, mientras que el tanque de fermentación con forma de viga se usa para producir biogás que es óptimo. La materia prima utilizada es efluente de molino de aceite de palma. En las primeras etapas del proceso se realiza la sedimentación en el primer tanque digestor a un caudal de 6 litros/minuto y luego se observa el tiempo de permanencia durante 24 horas. Durante los días 31 a 40, la producción de biogás alcanzó niveles máximos debido a que el sustrato en el digestor comenzó a agotarse y la mayor parte del sustrato no ha sido fermentado. es decir, 9,82 % mol para un tiempo de fermentación de 10 días.

Nasrullah Mohd et al., (2018); En el presente estudio, se investigó la eliminación de la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y

los sólidos en suspensión (SS) del efluente de la planta de aceite de palma (POME) mediante el proceso de electrocoagulación operando la celda electroquímica utilizando varios tipos de electrodos. Los experimentos se realizaron diseñando el electrodo en orientación vertical y horizontal; disposición monopolar en serie (MP-S), monopolar en paralelo (MP-P) y bipolar (BP); y aplicando aluminio, hierro y lana de acero como material de electrodo. La eficiencia de eliminación más alta de 74, 70 y 66 % para DQO, DBO y SS, respectivamente, se obtuvo al seleccionar la orientación vertical, la disposición MP-S y el material de lana de acero.

Nasrullah M. et al., (2019); en este estudio se investigó el proceso de electrocoagulación que utiliza una intensidad de corriente alta para tratar el efluente de la planta de aceite de palma (POME). Se llevaron a cabo varios parámetros operativos, como el tiempo de electrólisis, la distancia entre electrodos y el pH inicial, para determinar la condición eficiente del proceso en la eliminación de la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda biológica de oxígeno (DBO) y los sólidos en suspensión (SS). El tratamiento más alto se logró a los 50 minutos con eficiencias de eliminación de DQO, DBO y SS del 85 %, 83 % y 84 %, respectivamente. El tratamiento de más de 50 minutos mostró tendencias fluctuantes de eficiencias de eliminación que pueden considerarse insignificantes. La aplicación de una corriente más alta dio como resultado una mayor eliminación de compuestos orgánicos, mientras que las burbujas de gas también ayudaron a eliminar las partículas contaminantes por flotación.

Ibrahim I. et al., (2017); en su investigación intenta tratar la descarga final de efluentes de plantas de aceite de palma tratadas biológicamente utilizando bioadsorbente de fibra de mesocarpio de palma de aceite activado por vapor sin el uso de productos químicos como agentes activadores. La fibra de mesocarpio de palma aceitera se carbonizó a 600 °C durante 30 min y luego se activó con vapor a la misma temperatura durante otros 30 min. Se encontró que el área de superficie Brunauer-Emmett-Teller (BET) del bioadsorbente era de 494 m<sup>2</sup>/gramo. Luego, el bioadsorbente producido se usó para tratar la descarga final de la planta de aceite de palma tratada biológicamente mezclando el bioadsorbente y el agua residual en un matraz cónico y se agitó a 150 rpm durante 24 h. A una dosis de 10 g/L, el bioadsorbente redujo la demanda química de oxígeno y los sólidos suspendidos de la descarga final del

efluente de la planta de aceite de palma tratada biológicamente de 395 mg/L y 117 mg/L a 303 mg/L y 14 mg/L, respectivamente.

Abd Wafti et al., (2017); El estudio tiene como objetivo producir carbón activado (AC) renovable y verde a partir de biomasa de palma a través de la pirólisis y el proceso de activación. El estudio también tiene como objetivo evaluar la aplicación de AC como adsorbente en el tratamiento de efluentes de molinos de aceite de palma (POME). El proceso de activación física se llevó a cabo purgando con dióxido de carbono ( $100 \text{ cm}^3 \text{ min}^{-1}$ ) a una velocidad de calentamiento de  $10^\circ\text{C min}^{-1}$  durante 30 min hasta que el AC alcanza la temperatura de activación deseada. Las temperaturas de activación estudiadas oscilaron entre  $500^\circ\text{C}$  y  $900^\circ\text{C}$  en horno tubular de cuarzo. La temperatura óptima de activación, es decir  $800^\circ\text{C}$  dio el área de superficie específica máxima (SBET) de  $937 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ . Los experimentos de adsorción por lotes que aplicaron el adsorbente preparado al tinte sintético produjeron datos de adsorción que se ajustaban bien al modelo de isoterma de Langmuir. El AC producido a partir de EFB se desempeñó mejor en la remoción de colorantes logrando una capacidad máxima de adsorción de  $333.3 \text{ mg g}^{-1}$ .

Liew Rock et al., (2019); en su estudio informa sobre un método novedoso que utiliza la pirólisis al vacío por microondas combinada con la activación de una mezcla de hidróxido de sodio y potasio (NaOH-KOH) para producir carbón activado (AC) altamente poroso a partir de residuos de palma (es decir, cáscara de palmiste, PKS), un residuo sólido que se produce constantemente en gran volumen por la industria de la palma. El rendimiento y las propiedades del AC producido se vieron significativamente influenciados por dos parámetros clave del proceso: el tipo de agente activador y la proporción de impregnación química. La pirólisis proporcionó una velocidad de calentamiento rápida ( $60^\circ\text{C/min}$ ), alta temperatura ( $607^\circ\text{C}$ ) y un tiempo de proceso corto (35 min) para convertir PKS en biocarbón., y la subsiguiente activación por la mezcla de NaOH-KOH a una relación de impregnación química de 1,0 dio como resultado un rendimiento de AC del 84 % en peso.

Hossain Md S. et al., (2019); en su artículo se investigó el desempeño de los desechos de  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  de la industria del óxido de titanio en la eliminación de DBO, DQO y sólidos suspendidos totales (TSS) de POME. Se realizaron pruebas de jarra con dosis variables de coagulante ( $1$  a  $5 \text{ g L}^{-1}$ ), pH ( $2$  a  $10$ ) y temperatura ( $40$  a  $80^\circ\text{C}$ ) en función del tiempo de tratamiento que varió de  $5$  a  $90$  min. Los resultados muestran

que el  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  Los residuos de  $\text{Fe}^{2+}$  pueden eliminar alrededor del 70 % de DQO, más del 80 % de DBO y más del 85 % de TSS en un tratamiento de coagulación de una sola etapa.

Alhaji M. et al., (2018); en su estudio la degradación fotooxidativa del efluente de una planta de aceite de palma pretratada para la eliminación de la demanda química de oxígeno, la demanda biológica de oxígeno y el color mediante el sistema UV/TiO<sub>2</sub> se investigó en un fotorreactor de vidrio cilíndrico cuya superficie exterior se recubrió con dióxido de titanio mientras que la fuente UV sido colocado dentro del tubo de vidrio. Se ha descubierto que la eliminación de estos indicadores de contaminantes sigue una cinética de pseudo primer orden y, por lo tanto, la figura de mérito de energía eléctrica por orden ( EEO ) se utiliza para calcular aproximadamente la eficiencia de energía eléctrica del sistema de proceso de oxidación avanzada. A mayor oxígeno disuelto (10 mg/L), menor concentración inicial (6 mg/L) y medio ácido (pH = 3) se han encontrado favorables a la degradación fotocatalítica del efluente del molino de aceite de palma.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

La investigación de un tema o fenómeno en específico es llamada investigación aplicada, este tipo de investigación nos lleva a estudiar hechos suscitados en nuestra realidad. Este tipo de investigación permite generar nuevos conocimientos a través de la aplicación directa en los problemas llegando así a resolver las incertidumbres originadas en la sociedad (Vera, 2008, p.147). Debido a ello en el presente estudio se aplicaron los conocimientos obtenidos sobre Comparación de los Métodos de Tratamiento Biológico y Físicoquímico para la reducción del DBO Generado en Efluentes de Plantas Extractoras de Aceite de Palma sobre los problemas especificados que se encontraron.

El diseño narrativo nos permite describir y transcribir los hechos de la realidad tan y como lo describen los participantes, por ello en el presente estudio los datos recopilados que se han descrito de la forma original como se han encontrado cumpliendo con la objetividad al transcribir la información encontrada en los diferentes artículos científicos que se usaron para el desarrollo de la investigación.

Para Mertens el diseño narrativo lo clasificamos en cuatro y para el presente trabajo se aplicó el de narrativa de tópico. En el diseño narrativa de tópico nos dice que se enfoca en un tema en específico (2005). Por ello se ha hecho un análisis exhaustivo de Comparación de los Métodos de Tratamiento Biológico y Físicoquímico para la Reducción del DBO Generado en Efluentes de Plantas Extractoras de Aceite de Palma recolectando información de diferentes tipos de investigaciones.

#### **3.2 Categoría, subcategoría y matriz de categorización**

Las categorías y sub categorías se plantearon de acuerdo los objetivos y problemas específicos, lo cual se muestra en la siguiente tabla N°3

**Tabla N° 3. Matriz de Categorización Apriorística**

<b>Objetivos específicos</b>	<b>Problemas específicos</b>	<b>Categoría</b>	<b>Subcategoría</b>	<b>Criterio 1</b>
<b>Clasificar cuál es el tipo de método de tratamiento biológico y fisicoquímico más usado para la reducción del DBO generado en plantas extractoras de POME</b>	¿Cuál es el tipo de método de tratamiento biológico y fisicoquímico más usado para la reducción del DBO generado en plantas extractoras de POME?	Tratamiento biológico y fisicoquímico para la eliminación del DBO (Charles A. y Cheng C., 2019, p.2).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistema aeróbico</li> <li>- Sistema anaeróbico</li> <li>- UASB</li> <li>- EGSB</li> </ul>	(Alhaji M. et al., 2018, p.2), (Daud M. et al., 2018, p.1), (Hossain Md S. et al., 2019, p.2)
<b>Describir cuáles son las ventajas y desventajas de los métodos de tratamiento biológico y fisicoquímico para la reducción del DBO generado en plantas extractoras de POME</b>	¿Cuáles son las ventajas y desventajas de los métodos de tratamiento biológico y fisicoquímico para la reducción del DBO generado en plantas extractoras de POME?	Ventajas y desventajas del tratamiento biológico y fisicoquímico (Mohamad Z et al., 2022, p.578).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Costos reducidos</li> <li>- Fácil manejo</li> <li>- Bajo requerimiento energético</li> </ul>	(Liew Rock et al., 2019, p.2), (Dotro G. et al., 2017, p.3), (Fulazzaky M. et al., 2018, p.2)
<b>Definir cuál es el porcentaje de la eficiencia de remoción comparativa de los métodos de tratamiento biológico y fisicoquímico para la reducción del DBO generado en plantas extractoras de POME</b>	¿Cuál es el porcentaje de la eficiencia de remoción comparativa de los métodos de tratamiento biológico y fisicoquímico para la reducción del DBO generado en plantas extractoras de POME?	Porcentaje de la eficiencia de la remoción comparativa del tratamiento biológico y fisicoquímico (Nasrullah Mohd et al., 2018, p.2).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- En rangos de 10 a 50</li> <li>- En rangos de 50 a 70</li> <li>- En rangos de 70 a 100 %</li> </ul>	(Zulfahmi Ilham et al., 2018, p.2), (Bajpai P et al., 2017, p.2), (Muliari M. y Zulfahmi I., 2016, p.1)

*Elaboración propia*



### **3.3 Escenario de estudio**

En la revisión de los artículos científicos nos encontramos con diferentes escenarios que se tomaron en conjunto como el escenario de estudio del presente trabajo de investigación, ya que al recopilar información de distintas fuentes nos encontramos con una serie de laboratorios, bibliotecas y campos donde se realizaron las investigaciones.

### **3.4 Participantes**

Se hizo uso de diferentes plataformas para indagar y recopilar información que ayudo al desarrollo y sustento del presente estudio, por ellos las bibliotecas virtuales y red de revistas científicas como Sciencedirect, Redalyc y Pubmed fueron tomadas como las participantes del presente estudio ya que formaron parte del desarrollo de la investigación y la obtención de resultados.

### **3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

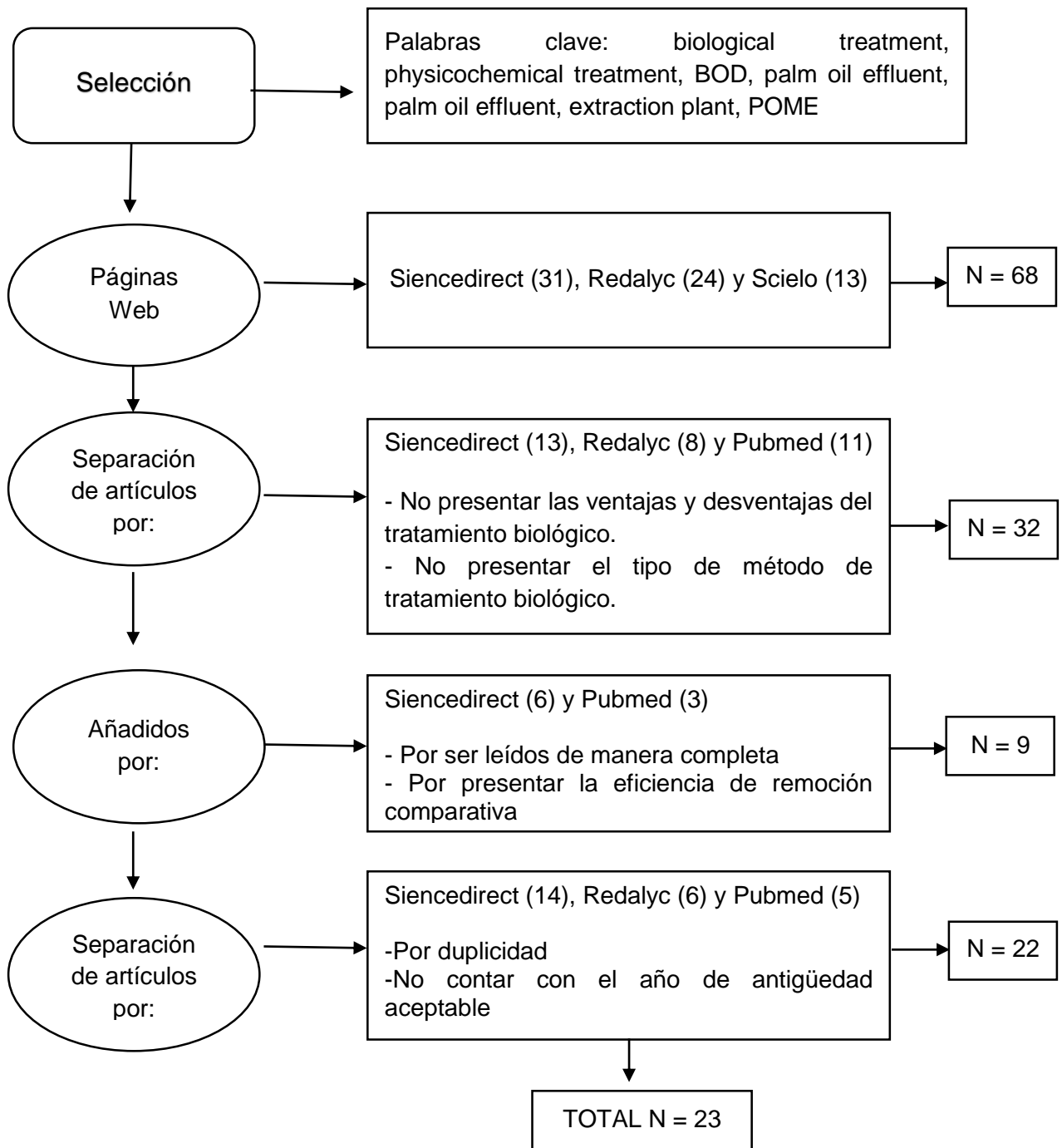
El análisis documental es la selección de toda información que se considere relevante para contemplarlo dentro de un nuevo documento que se originara a través de esta técnica, con el fin de poder ser usada con facilidad y permitir al lector poder recuperar la información de manera rápida. Debido a ello se analizó y se recopiló información relevante de cada artículo científico que se usó en el desarrollo de la investigación.

La ficha de análisis documental es un instrumento que permite tener un análisis de los datos bibliográficos y a través de esta concretar con el análisis documental y completar la recolección de datos para la investigación. Se usó esta herramienta analizando la descripción bibliográfica de cada artículo científico.

### **3.6 Procedimientos**

Los artículos científicos seleccionados para el estudio fueron seleccionados como indica en el siguiente gráfico (N°1)

**Grafica N°1. Procedimientos de selección de artículos al estudio**



Elaboración propia

### **3.7 Rigor científico**

El rigor científico permite a un estudio ser confiable es decir que el lector confíe en su contenido y en sus resultados. Por ello se consideran los siguientes cuatro criterios:

La credibilidad aplicada en una investigación permite al lector reconocer en los resultados los datos que fueron recopilados, los hechos o sucesos que fueron descritos en la investigación de manera que esta no se haya cambiado o tergiversado por el investigador (Hamberg, 1994, p.177). Se aplicó este criterio plasmando los datos e información de los artículos científicos como han sido halladas.

La transferibilidad permite llevar los resultados de una investigación a otras así se encuentren en otro contexto, las características en las que surgen un fenómeno como son el entorno y el tiempo son intransferibles, pero mediante una exhaustiva descripción de ellas se puede cumplir con este criterio (Hamberg, 1994, p.179). Los datos recopilados y plasmados fueron descritos de manera que son posibles de interpretar y reconocer en los resultados la investigación.

La dependencia donde el estudio tendrá la característica de ser cambiante a la vez que su entorno pueda variar y tenga la capacidad de adaptación (Hamberg, 1994, p.177). Se cumple con este criterio debido a que el presente estudio puede aplicarse en otro contexto.

La confirmabilidad permite a un estudio no distorsionar la realidad que conlleva el entorno, el tiempo, los participantes y demás características que se encuentran en una investigación (Hamberg, 1994, p.179), por ello en el presente estudio se describió y plasmó la realidad de lo investigado sin emitir juicios por parte del investigador, teniendo resultados coherentes con los datos recopilados.

### **3.8 Método de análisis de información**

El método usado fue el de triangulación, mediante esta técnica se usó distintos datos y fuentes. La matriz de categorización es el método más usado el cual se divide en categorías y sub categorías.

Las categorías se dividen en tres:

- Ventajas y desventajas del tratamiento biológico y fisicoquímico.

- Tratamiento biológico y fisicoquímico para la reducción del DBO.
- Porcentaje de la eficiencia de la remoción comparativa del tratamiento biológico y fisicoquímico.

Las sub categorías se dividen en tres:

- Cat. 1: Sistema aeróbico, Sistema anaeróbico, UASB, EGSB
- Cat. 2: Costos reducidos, Fácil manejo, Bajo requerimiento energético
- Cat. 3: en rangos de 10 a 50 de 50 a 70 y de 70 a 100 %

### **3.9 Aspectos éticos**

La originalidad de la investigación se llevó a cabo del programa Turnitin donde se constató la autenticidad del presente estudio. La correcta aplicación de las referencias bibliográficas a través de la norma ISO 690 respetando la autoría de la información usada en el presente estudio. Se aplicó correctamente la guía de productos observables de la Universidad Cesar Vallejo.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mediante el objetivo del estudio de detallar cuáles son los aspectos más relevantes del uso de métodos de tratamiento biológico y fisicoquímico para la reducción del DBO generado en efluentes de plantas extractoras de aceite de palma (POME), se buscó resolver 3 problemas específicos en las literaturas seleccionadas; siendo el primero desarrollado en la tabla 4.

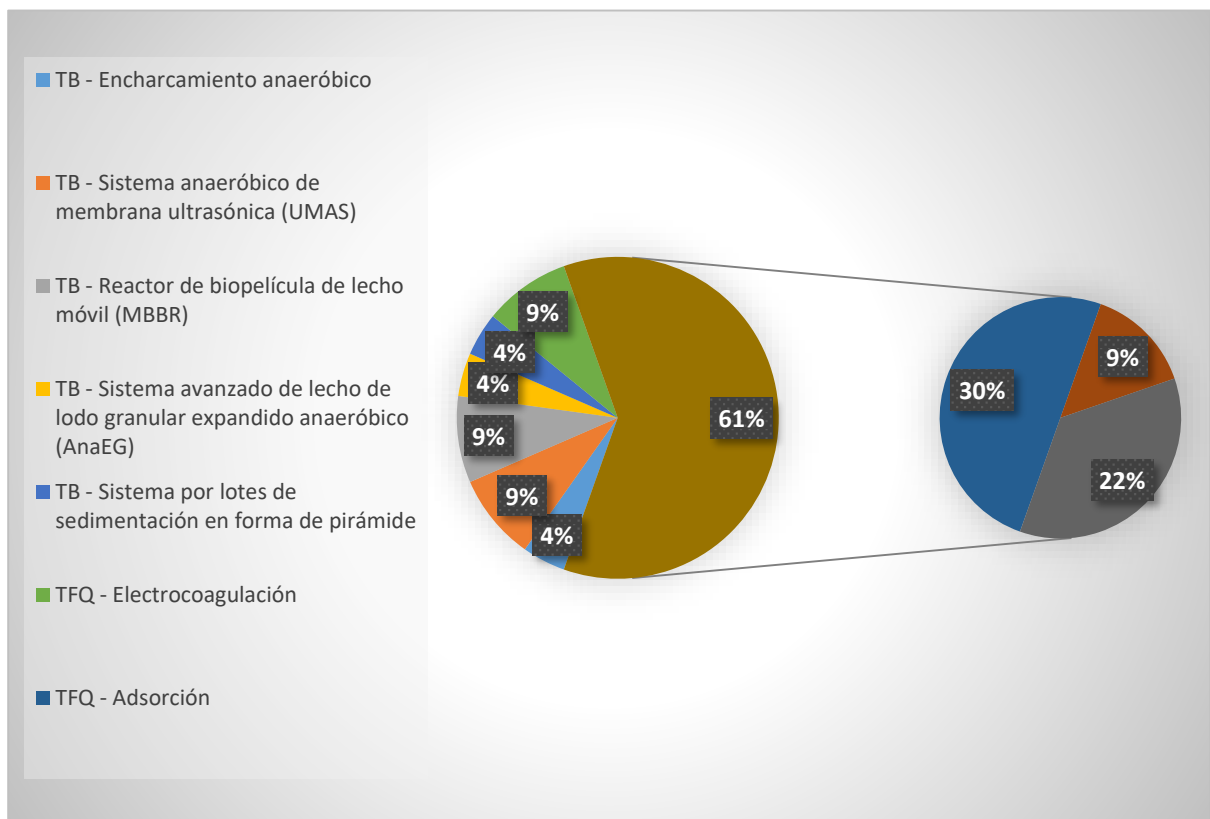
**Tabla N°4. Método de tratamiento biológico y fisicoquímico**

<b>Método de tratamiento</b>	<b>Fuente</b>
<b>Tipos de métodos de tratamientos Biológicos</b>	
Encharcamiento anaeróbico	(Zainal Nahrul H. et al., 2017)
Sistema anaeróbico de membrana ultrasónica (UMAS)	(Abdurahman H. et al., 2017)
	(Lokman N. et al., 2021)
Reactor de biopelícula de lecho móvil (MBBR)	(Binti A. et al., 2016)
	(Kawan J. et al., 2016)
Sistema avanzado de lecho de lodo granular expandido anaeróbico (AnaEG)	(Tabassum et al., 2016)
Sistema por lotes de sedimentación en forma de pirámide	(Aznury M. et al., 2018)
<b>Tipos de métodos de tratamientos fisicoquímicos</b>	
Electrocoagulación	(Nasrullah M. et al., 2018)
	(Nasrullah M. et al., 2019)
Adsorción	(Ibrahim I. et al., 2017)
	(Abd Wafti N. et al., 2017)
	(Lam Su S. et al., 2018)
	(Zainal N. et al., 2018)
	(Tee Pei Fang et al., 2016)
	(Liew Rock K. et al., 2019)
	(Wun Wee L. et al., 2017)
Coagulación/floculación	(Hossain Md S. et al., 2019)
	(King Wong et al., 2019)
Proceso de oxidación avanzada (AOP)	(Parthasarathy S. et al., 2016)
	(Alhaji M. et al., 2018)
	(Haji Alhaji m. et al., 2017)
	(Ng Kim H. et al., 2016)
	(Ng Kim H. et al., 2019)

*Elaboración propia*

En la tabla 4 se clasificó el tipo de método de tratamiento biológico y fisicoquímico más usado para la reducción del DBO generado en efluentes de plantas extractoras de aceite de palma (POME); donde se tiene que los tratamientos fisicoquímicos son los más usados en comparación con los tratamientos biológicos; así mismo se detalla en la gráfico 2 respecto a la tabla 4 los porcentajes de método de tratamiento biológico y fisicoquímico más usado para la reducción del DBO generado en efluentes de plantas extractoras de aceite de palma (POME).

**Gráfico N°2.** Porcentaje de los estudios aplicados los métodos de tratamiento biológico y fisicoquímico



*Elaboración propia*

De acuerdo al gráfico 2, se tiene que el tipo de método de tratamiento más usado es el fisicoquímico, siendo ello corroborado por el 70% de los investigadores, mientras que el restante 30% aplican el tratamiento biológico.

Además, entre los tratamientos fisicoquímicos, los métodos de adsorción son los que más se aplican en un 30% del total, seguido de los procesos de oxidación avanzada en un 22%; mientras que entre los tratamientos biológicos los más usados son los Encharcamiento anaeróbico en un 4% del total de estudios, el Sistema anaeróbico de

membrana ultrasónica (UMAS) en 9%, Reactor de biopelícula de lecho móvil (MBBR) en 9%, Sistema avanzado de lecho de lodo granular expandido anaeróbico (AnaEG) en 4% y Sistema por lotes de sedimentación en forma de pirámide en 4%.

Ello de acuerdo con (Ahmed Yunus et al., 2016, p.1); debido a que, entre estos procesos de tratamiento, la adsorción es uno de los medios más respetuosos con el medio ambiente para tratar las aguas residuales.

Siendo ello respaldado por los siguientes investigadores: (Ibrahim I. et al., 2017), (Abd Wafti N. et al., 2017), (Lam Su S. et al., 2018), (Zainal N. et al., 2018), (Tee Pei Fang et al., 2016), (Liew Rock K. et al., 2019) y (Wun Wee L. et al., 2017).

Así mismo, ello lo respalda Lam Su S. et al., (2018), señalando en su investigación que el tratamiento de adsorción ya sea usando cáscaras de cítricos, quitosano, carbón activado (CA), residuos de cebada, cenizas volantes, zeolita y arcilla de filosilicato de aluminio, organoarcilla u otros se utiliza a menudo para eliminar ácidos y grasas (OG) como las aguas residuales de alta densidad de metales.

Pero ello presenta cierta oposición por Wahi Rafeah et al., (2017, p.3); quien afirma que, aunque la adsorción se ha utilizado en POME para eliminar el aceite residual, el SS y los metales de alta densidad la adsorción necesita un tratamiento adicional porque no hay estudios específicos de escalabilidad que se hayan realizado.

Ante ello Hossain Md S. et al., (2019), afirma que, teniendo en cuenta la alta concentración de materias orgánicas en POME, la digestión anaeróbica debe ser considerada como el principal proceso de tratamiento de POME.

También se encontró que el sistema anaeróbico ofrece el mejor rendimiento en el tratamiento de POME debido a las características orgánicas de POME (Choong et al., 2018, p.2).

Pero Kawan J. et al., (2016), en su estudio refuta lo mencionado, señalando que el proceso de tratamiento aeróbico rara vez se utiliza para tratar el POME crudo que tiene un alto nivel de carga orgánica y debido a su alta carga orgánica, puede ser bastante difícil que este proceso de tratamiento ofrezca una eficiencia óptima en términos de sentido técnico y económico.

Aunque Zainal Nahrul H. et al., (2017), en su estudio apoya lo anteriormente mencionada, afirmando que, entre los tratamientos biológicos, los estanques anaeróbicos son comúnmente utilizados; encontrando que el estanque anaeróbico para el sistema de tratamiento reduce los niveles de DQO (100-1725 mg L<sup>-1</sup>), DBO (100-610 mg L<sup>-1</sup>), y nitrógeno amoniacal (100-200 mg L<sup>-1</sup>) a un cierto rango en consecuencia el sistema de estanque abierto requiere un amplio espacio.

Por otro lado, se buscó describir las ventajas y desventajas de los métodos de tratamiento biológico y fisicoquímico para la reducción del DBO generado en efluentes de plantas extractoras de aceite de palma (POME); detallándolos de acuerdo al método de tratamiento usado en la tabla 5.

**Tabla N°5. Ventajas y desventajas de los métodos de tratamiento biológico y fisicoquímico**

<b>Método de tratamiento</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>	<b>Fuente</b>
<b>Tipos de métodos de tratamientos Biológicos</b>			
<b>Encharcamiento anaeróbico</b>	Bajos costos involucrados	Requiere área extensa	(Zainal Nahrul H. et al., 2017)
<b>Sistema anaeróbico de membrana ultrasónica (UMAS)</b>	Elimina la DBO alta en TRH corta	Ensuciamiento de membrana	(Abdurahman H. et al., 2017)
	Alta eficiencia de eliminación de sustrato	Alto costo de la membrana	(Lokman N. et al., 2021)
<b>Reactor de biopelícula de lecho móvil (MBBR)</b>	Resiliencia mejorada a la variación de carga y flujo	Requiere un período de puesta en marcha más largo	(Binti A. et al., 2016)
	Nitrificación mejorada	Los medios de película fijos tienden a eliminarse de los sistemas con el tiempo.	(Kawan J. et al., 2016)
<b>Sistema avanzado de lecho de lodo granular expandido anaeróbico (AnaEG)</b>	-Menor consumo de energía -Menor producción de lodos -Tolerancia a alta carga orgánica	-Cinética altamente dependiente de la temperatura del efluente -Operación lenta sin la ayuda de inóculo aclimatado	(Tabassum et al., 2016)



<b>Sistema por lotes de sedimentación en forma de pirámide</b>	-Capaz de manejar altamente -Confiable y energéticamente eficiente	-Necesita una gran área de tratamiento -Problemas relacionados con la acumulación de sólidos en el fondo	(Aznury M. et al., 2018)
--	---	---	--------------------------

### Tipos de métodos de tratamientos fisicoquímicos

<b>electrocoagulación</b>	Proceso sencillo	Consume alta intensidad de corriente	(Nasrullah M. et al., 2018)
	Reducir metales pesados y compuestos fenólicos	Alto costo operativo	(Nasrullah M. et al., 2019)
<b>Adsorción</b>	-Alta eliminación de aceite residual -Alta capacidad -Material relativamente menos costoso	-No se han realizado estudios específicos de escalabilidad -El rendimiento depende del sorbente	(Ibrahim I. et al., 2017)
			(Abd Wafti N. et al., 2017)
			(Lam Su S. et al., 2018)
			(Zainal N. et al., 2018)
			(Tee Pei Fang et al., 2016)
			(Liew Rock K. et al., 2019)
<b>Coagulación/floculación</b>	-Bajo costo -Alta eliminación de TSS -Los coagulantes naturales son biodegradables y no peligrosos para el medio ambiente.	-Elimina solo sólidos suspendidos (SS) y aceite residual -Los coagulantes inorgánicos son sensibles al cambio de pH	(Wun Wee L. et al., 2017)
			(Hossain Md S. et al., 2019)
			(King Wong et al., 2019)
<b>Proceso de oxidación avanzada (AOP)</b>	-El catalizador se puede reciclar -Sin producción potencial de subproducto bromado -Sin generación de lodos	-El ajuste de pH aumentará el costo operativo -La penetración de la luz ultravioleta puede verse afectada por la turbidez -Procesos intensivos en energía y costos	(Parthasarathy S. et al., 2016)
			(Alhaji M. et al., 2018)
			(Haji Alhaji m. et al., 2017)
			(Ng Kim H. et al., 2016)
			(Ng Kim H. et al., 2019)

		-Si el catalizador se agrega como una suspensión, se necesita un paso de separación	
--	--	---	--

*Elaboración propia*

De acuerdo con la tabla 5 mostrando las ventajas y desventajas de los tratamientos fisicoquímicos y biológicos, se tiene que el tratamiento fisicoquímico de POME a pesar de las desventajas que pueda presentar es crucial para que el efluente sea descargado en la corriente de agua.

Ello es respaldado por lo mencionado en los estudios de: (Nasrullah M. et al., 2018), (Nasrullah M. et al., 2019), (Ibrahim I. et al., 2017), (Abd Wafti N. et al., 2017), (Lam Su S. et al., 2018), (Zainal N. et al., 2018), (Tee Pei Fang et al., 2016), (Liew Rock K. et al., 2019), (Wun Wee L. et al., 2017), (Hossain Md S. et al., 2019), (King Wong et al., 2019), (Parthasarathy S. et al., 2016), (Alhaji M. et al., 2018), (Haji Alhaji m. et al., 2017), (Ng Kim H. et al., 2016), (Ng Kim H. et al., 2019).

Además, se puede decir la alta DBO es causada por el alto contenido de materias orgánicas y sólidos suspendidos en el POME. Por lo tanto, mediante la aplicación de uno de los tratamientos, como la técnica de separación por membranas, los sólidos en suspensión pueden ser filtrados y la DBO del vertido final se convierte en baja.

Ello es apoyado por Hosseini y Wahid, (2016, p.2); quien menciona que una de las desventajas del tratamiento biológico usando estanques anaeróbicos es que la implementación de este sistema puede causar un impacto ambiental negativo, como la producción de licor y la liberación de metano, lo que resulta en el agotamiento de la capa de ozono y produce gases de efecto invernadero (GEI); además, el tiempo total de retención hidráulica (TRH) necesario para los estanques anaeróbicos es largo, y oscila entre 45 a 60 días.

Siendo ello refutado por Azmi N. et al., (2015, p.4); quien menciona que la técnica de adsorción en el método de tratamiento biológico se implementó primero antes del uso de UF para eliminar cualquier residuo o, en otras palabras, para evitar una mayor contaminación de la membrana en la superficie.

Por otro lado, se buscó definir el porcentaje de la eficiencia de remoción comparativa de los métodos de tratamiento biológico y fisicoquímico para la reducción del DBO generado en efluentes de plantas extractoras de aceite de palma (POME), detallando los estudios mediante la eficiencia de eliminación de la DBO en la tabla 6.

**Tabla N°6.** Porcentaje de la eficiencia de remoción comparativa de los métodos de tratamiento biológico y fisicoquímico

<b>Método de tratamiento</b>	<b>Eficiencia de eliminación de la DBO (%) ; (mg L<sup>-1</sup> ; ppm)</b>	<b>de Fuente</b>
<b>Tipos de métodos de tratamientos Biológicos</b>		
Encharcamiento anaeróbico	100–610 mg L <sup>-1</sup> 98%	(Zainal Nahrul H. et al., 2017)
Sistema anaeróbico de membrana ultrasónica (UMAS)	96.88%	(Abdurahman H. et al., 2017)
	66%	(Lokman N. et al., 2021)
Reactor de biopelícula de lecho móvil (MBBR)	Sample A (6.41%–21.65%)	(Binti A. et al., 2016)
	Sample B (35.58%–55.44%)	
	Sample C (17.55%–43.06%)	(Kawan J. et al., 2016)
	Sample D (56.18%–65.49%)	
Sistema avanzado de lecho de lodo granular expandido anaeróbico (AnaEG)	<20 mg L <sup>-1</sup> 97%	(Tabassum et al., 2016)
Sistema por lotes de sedimentación en forma de pirámide	30.9 mg L <sup>-1</sup> 75%	(Azunury M. et al., 2018)
<b>Tipos de métodos de tratamientos fisicoquímicos</b>		
Electrocoagulación	53% (electrodo en orientación vertical)	(Nasrullah M. et al., 2018)
	62% (disposición MP-S)	
	70% (Electrodo de tipo madera de acero)	(Nasrullah M. et al., 2019)
Adsorción	83% (A alta intensidad de corriente)	
	94% (Parámetros de operación óptimos)	
	88% (OPB)	(Ibrahim I. et al., 2017)
	57,0% (biocarbón oscuro)	(Abd Wafti N. et al., 2017)

		83% (Carbón activado, (AC))	(Lam Su S. et al., 2018)
		85 ± 0,5% (CAC)	(Zainal N. et al., 2018)
		93,1 ± 0,5 % (MFC+CA)	(Tee Pei Fang et al., 2016)
		85% (AC metálico)	(Liew Rock K. et al., 2019)
		60%-65% (Lodos activados)	(Wun Wee L. et al., 2017)
Coagulación / floculación		> 80% (residuos de FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O)	(Hossain Md S. et al., 2019)
		89,7% (Tratamiento híbrido de US, coagulación FeCl <sub>3</sub> y adsorción AC)	(King Wong et al., 2019)
Proceso de oxidación avanzada (AOP)		100% (sistema de bocina de ultrasonido con AC)	(Parthasarathy S. et al., 2016)
		52 mg L <sup>-1</sup> (sistema UV/TiO <sub>2</sub> )	
		48,05–102,68 % (sistema UV/TiO <sub>2</sub> a través de un diseño compuesto central centrado en la cara)	(Alhaji M. et al., 2018)
		26 ppm (fotocatálisis UV/ZnO) Reformado catalítico con vapor (20 % en peso de Ni/80 % en peso de catalizador de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	(Haji Alhaji m. et al., 2017)
		99,52% (899,85 °C)	(Ng Kim H. et al., 2016)
		88,21% (449,85 °C)	(Ng Kim H. et al., 2019)

### *Elaboración propia*

De acuerdo con la tabla 6, se tiene que los tratamientos fisicoquímicos presentan mayores porcentajes de la eficiencia de remoción; ya que, presentan porcentajes de eliminación del DQO en rangos de 70 al 100% a diferencia de los tratamientos biológicos.

Siendo ello afirmado por; (Nasrullah M. et al., 2019), (Ibrahim I. et al., 2017), (Abd Wafti N. et al., 2017), (Lam Su S. et al., 2018), (Zainal N. et al., 2018), (Tee Pei Fang et al., 2016), (Liew Rock K. et al., 2019), (Hossain Md S. et al., 2019), (King Wong et al., 2019), (Parthasarathy S. et al., 2016), (Ng Kim H. et al., 2016), (Ng Kim H. et al., 2019).

Ello es apoyado por Mohammed y Chong, (2015, p.1); quien afirma que analizando en los resultados de su estudio la cáscara de plátano modificada o específicamente carbón activado de cáscara de plátano (BPAC) como adsorbente en un proceso de tratamiento biológico para POME, que reportó que el color, SST, DQO y DBO se redujeron con éxito en un 95,96%, 100%, 100% y 97,41%, respectivamente, a pH 2 en 30 h.

Además, también se pudo demostrar que la adsorción del DBO generado en efluentes de plantas extractoras de aceite de palma (POME) se produce a través de la fisioabsorción.

Así también lo respalda (Ng Kim H. et al., 2019), quien en su estudio utilizando el tratamiento fisicoquímico mediante el método de Proceso de oxidación avanzada (AOP), obtuvo en sus resultados que la reducción de DQO fue del 99,41 % y la reducción de DBO fue del 99,52 % a 1173 K cuando el LHSV era de 60 ml h<sup>-1</sup> g cat<sup>-1</sup>; señalando como este tipo de métodos el mejor en eficiencia de remoción, ya que, más del 99 % de los compuestos orgánicos en POME se degradaron en presencia del catalizador.

Mediante los resultados en su estudio Ng Kim H. et al., (2016), también apoyan la afirmación hecha, donde, los resultados de la fotorreacción mostraron que la carga óptima de ZnO para la fotomineralización de POME fue de 1,0 g/L, con aproximadamente un 50 % de eliminación de DQO después de solo 240 min de irradiación UV y el 99,52% se eliminó con una temperatura de 899,85 °C.

Pero ello es rechazado por el estudio de Zainal Nahrul H. et al., (2017), quien usando el tratamiento biológico con el método de encharcamiento anaeróbico obtuvo una eliminación del DBO al 98%. Así mismo, Abdurahman H. et al., (2017) y (Tabassum et al., 2016).

Pero, Kawan J. et al., (2016), en su estudio menciona que los tratamientos biológicos no son los mejores para tratar el POME debido a su alto nivel de carga orgánica que lo convierte en un contaminante difícil para que el tratamiento biológico ofrezca una eficiencia óptima. Siendo ello corroborado por los estudios de (Binti A. et al., 2016), (Kawan J. et al., 2016) y (Lokman N. et al., 2021) quienes usando tratamiento

biológico por MBBR y UMAS, presentaron como mayor eficiencia de eliminación de DBO 65.49%, 55.44% y 66% respectivamente.

## V. CONCLUSIONES

Mediante los estudios analizados y los resultados obtenidos se puede concluir que los aspectos más relevantes son el tipo de método que se utiliza para la reducción del DBO, donde a pesar de la implementación de numerosos procesos de tratamiento biológico, la mayoría de los procesos utilizados no descargan efluentes que cumplan con el límite de descarga de DBO. Algunos de los procesos de tratamiento convencionales existentes también ofrecen resultados desfavorables similares. Así mismo, se detallan las 3 conclusiones del estudio en los siguientes puntos:

- El tipo de método de tratamiento biológico y fisicoquímico más usado para la reducción del DBO generado en efluentes de plantas extractoras de aceite de palma son los tratamientos fisicoquímicos los más usados en comparación con los tratamientos biológicos, además, entre los tratamientos fisicoquímicos, los métodos de adsorción son los que más se aplican en un 30% del total, seguido de los procesos de oxidación avanzada en un 22%; mientras que entre los tratamientos biológicos los más usados son los Encharcamiento anaeróbico en un 4% del total de estudios, el Sistema anaeróbico de membrana ultrasónica (UMAS) en 9%, Reactor de biopelícula de lecho móvil (MBBR) en 9%, Sistema avanzado de lecho de lodo granular expandido anaeróbico (AnaEG) en 4% y Sistema por lotes de sedimentación en forma de pirámide en 4%.
- Las ventajas y desventajas de los métodos de tratamiento biológico y fisicoquímico para la reducción del DBO generado en efluentes de plantas extractoras de aceite de palma (POME) con respecto a los tratamientos fisicoquímicos es que a pesar de las desventajas que pueda presentar es crucial para que el efluente sea descargado en la corriente de agua a diferencia de los tratamientos biológicos.
- De acuerdo al porcentaje de la eficiencia de remoción comparativa de los métodos de tratamiento biológico y fisicoquímico para la reducción del DBO generado en efluentes de plantas extractoras de aceite de palma, se tiene que los tratamientos fisicoquímicos presentan mayores porcentajes de la eficiencia de remoción; ya que, presentan porcentajes de eliminación del DBO en rangos de 70 al 100% a diferencia de los tratamientos biológicos.

## VI. RECOMENDACIONES

En base a los estudios analizados para determinar los aspectos más relevantes del uso de métodos de tratamiento biológico y fisicoquímico para la reducción del DBO generado en efluentes de plantas extractoras de aceite de palma (POME), se pudo observar la falta de estudios enfocados en el descubrir más sobre el potencial de los tratamientos de aceite de palma; por lo cual se realiza las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda implementar investigaciones aplicando métodos nuevos o integrados, de modo que los niveles de DBO puedan ser alcanzados en base al requisito de descarga estándar.
- Se recomienda utilizar la combinación de los métodos de tratamientos biológicos y fisicoquímicos para la primera y segunda etapa, de modo que al final del proceso, se puede recuperar el POME cristalino y se puede verter en la corriente de agua con un nivel de DBO dentro del requisito de descarga estándar.
- Además, se sugiere incluir datos clave sobre la reducción del nivel de DBO o las eficiencias de eliminación de DBO como referencias para futuras investigaciones.



## REFERENCIAS

1. ABD WAFTI, Nur Sulihatimarsyila, et al. Activated carbon from oil palm biomass as potential adsorbent for palm oil mill effluent treatment. *Journal of Oil Palm Research*, 2017, vol. 29, no 2, p. 278-290. Disponible en: <https://doi.org/10.21894/jopr.2017.2902.12>
2. ABDURAHMAN, N. H., et al. BIOMETHANATION OF PALM OIL MILL EFFLUENT (POME) BY ULTRASONIC-ASSISTED MEMBRANE ANAEROBIC SYSTEM (UMAS). 2017. ISSN: 2277-9655
3. AHMED, Yunus, et al. Production of biogas and performance evaluation of existing treatment processes in palm oil mill effluent (POME). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, vol. 42, p. 1260-1278. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.073>
4. ALHAJI, Mohammed Haji, et al. Photo-oxidation of pre-treated palm oil mill Effluent using cylindrical column immobilized photoreactor. *Process Safety and Environmental Protection*, 2018, vol. 117, p. 180-189. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.04.012>
5. AZNURY, Martha, et al. The digester modification for Biogas Production from Palm Oil mill Effluent by batch system. En *MATEC Web of Conferences*. EDP Sciences, 2018. p. 03037. Disponible en: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815603037>
6. AZMI, Nazatul Shima; YUNOS, Khairul Faezah Md. Wastewater treatment of palm oil mill effluent (POME) by ultrafiltration membrane separation technique coupled with adsorption treatment as pre-treatment. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2014, vol. 2, p. 257-264. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aaspro.2014.11.037>
7. BAJPAI, Pratima. *Anaerobic technology in pulp and paper industry*. Singapore; Springer, 2017. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1007/978-981-10-4130-3\\_2](http://dx.doi.org/10.1007/978-981-10-4130-3_2)

8. BINTI AMBOKUPEK, Nur Amirah; OTHMAN, Mohd Nor. Tertiary Treatment of Palm Oil Mill Effluent (POME) Using Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR). 2016.
9. BLANCO, V. M. C.; OLIVEIRA, G. H. D.; ZAIAT, M. Dark fermentative biohydrogen production from synthetic cheese whey in an anaerobic structured-bed reactor: Performance evaluation and kinetic modeling. *Renewable Energy*, 2019, vol. 139, p. 1310-1319. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.03.029>
10. BUNDHOO, MA Zumar; MOHEE, Romeela. Inhibition of dark fermentative biohydrogen production: a review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2016, vol. 41, no 16, p. 6713-6733. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.03.057>
11. CHAN, Yi Jing; CHONG, Mei Fong. Palm oil mill effluent (POME) treatment—Current technologies, biogas capture and challenges. *En Green technologies for the oil palm industry*. Springer, Singapore, 2019. p. 71-92. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1007/978-981-13-2236-5\\_4](http://dx.doi.org/10.1007/978-981-13-2236-5_4)
12. CHARLES, Ashwin; CHENG, Chin Kui. Photocatalytic treatment of palm oil mill effluent by visible light-active calcium ferrite: Effects of catalyst preparation technique. *Journal of environmental management*, 2019, vol. 234, p. 404-411. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.01.024>
13. DAUD, M. K., et al. Review of upflow anaerobic sludge blanket reactor technology: effect of different parameters and developments for domestic wastewater treatment. *Journal of Chemistry*, 2018, vol. 2018. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2018/1596319>
14. DARAJEH, Negisa, et al. Modeling BOD and COD removal from Palm Oil Mill Secondary Effluent in floating wetland by *Chrysopogon zizanioides* (L.) using response surface methodology. *Journal of environmental management*, 2016, vol. 181, p. 343-352. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2021.11.019>

15. DONGHO, D. F. F., et al. Some factors affecting quality of crude palm oil sold in Douala, Cameroon. Journal of Food Research, 2017, vol. 6, no 1, p. 50-58. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.5539/jfr.v6n1p50>
16. DOTRO, G., et al. Treatment Wetlands. Water Intell Online 16: 9781780408774. 2017. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2166/9781780408774>
17. FARID, Mohammed Abdillah Ahmad, et al. A holistic treatment system for palm oil mill effluent by incorporating the anaerobic-aerobic-wetland sequential system and a convective sludge dryer. Chemical Engineering Journal, 2019, vol. 369, p. 195-204. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.03.033>
18. FULAZZAKY, Mohamad Ali, et al. Mass transfer kinetics of biosorption of nitrogenous matter from palm oil mill effluent by aerobic granules in sequencing batch reactor. Environmental technology, 2018, vol. 39, no 17, p. 2151-2161. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/09593330.2017.1351494>
19. GOPALAKRISHNAN, Balachandar; KHANNA, Namita; DAS, Debabrata. Dark-fermentative biohydrogen production. En Biohydrogen. Elsevier, 2019. p. 79-122. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64203-5.00004-6>
20. HAJI ALHAJI, Mohammed, et al. Modeling and optimization of photocatalytic treatment of pre-treated palm oil mill effluent (POME) in a UV/TiO<sub>2</sub> system using response surface methodology (RSM). Cogent Engineering, 2017, vol. 4, no 1, p. 1382980. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/23311916.2017.1382980>
21. HOSSAIN, Md Sohrab, et al. Effective treatment of palm oil mill effluent using FeSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O waste from titanium oxide industry: Coagulation adsorption isotherm and kinetics studies. Journal of Cleaner Production, 2019, vol. 219, p. 86-98. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.069>
22. IBRAHIM, Izzudin, et al. Reduction of residual pollutants from biologically treated palm oil mill effluent final discharge by steam activated bioadsorbent from oil palm biomass. Journal of cleaner production, 2017, vol. 141, p. 122-127. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.066>

23. ISKANDAR, M. J. Baharum A Anuar FH and Othaman R 2018. Environ. Technol. Innov, vol. 9, p. 169-85. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eti.2017.11.003>
24. KAWAN, Jamal Ali, et al. A review on sewage treatment and polishing using moving bed bioreactor (MBBR). Journal of Engineering Science and Technology, 2016, vol. 11, no 8, p. 1098-1120.
25. KHALIL, HPS Abdul, et al. Mechanical properties of oil palm biocomposites enhanced with micro to nanobiofillers. En Biocomposites. Woodhead Publishing, 2015. p. 401-435. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-373-7.00026-3>
26. KING, Wong Ging, et al. Application of hybrid ultrasonic cavitation/adsorption and coagulation for treatment of palm oil mill effluent. En AIP Conference Proceedings. AIP Publishing LLC, 2019. p. 020008. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1063/1.5117068>
27. KUMAR, Karthigayen S. El aceite de palma en el mercado global y sus oportunidades en Estados Unidos. Revista Palmas, 2016, vol. 37, p. 319-321. ISSN: 2422-0248
28. LAM, Su Shiung, et al. Pyrolysis production of fruit peel biochar for potential use in treatment of palm oil mill effluent. Journal of environmental management, 2018, vol. 213, p. 400-408. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.02.092>
29. LETTI, Luiz Alberto Junior, et al. Valorization of solid and liquid wastes from palm oil industry. En Waste Biorefinery. Elsevier, 2021. p. 235-265. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821879-2.00009-0>
30. LIEW, Rock Keey, et al. Innovative production of highly porous carbon for industrial effluent remediation via microwave vacuum pyrolysis plus sodium-potassium hydroxide mixture activation. Journal of cleaner production, 2019, vol. 208, p. 1436-1445. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.214>

31. LOKMAN, Nur Aleya, et al. A brief review on biochemical oxygen demand (BOD) treatment methods for palm oil mill effluents (POME). *Environmental Technology & Innovation*, 2021, p. 101258. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101258>
32. LEVANG, Patrice; RIVA, Wahyu F.; ORTH, Meri G. Oil palm plantations and conflict in Indonesia: Evidence from West Kalimantan. *The oil palm complex: Smallholders, agribusiness and the State in Indonesia and Malaysia*, 2016, p. 283-300. Disponible en: [https://books.google.es/books?id=kOHHCwAAQBAJ&lpg=PA283&ots=d6d2qsLXtt&dq=Currently%2C%20the%20Malaysian%20oil%20palm%20industry%20is%20facing%20many%20challenges%2C%20allegations%20and%20negative%20perceptions%20by%20some%20NGO%20which%20insinuate%20that%20the%20development%20of%20the%20oil%20palm%20plantations%20is%20not%20sustainable%2C%20pollutes%20the%20environment%20and%20causes%20deforestation%20\(M&l&hl=es&pg=PA283#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?id=kOHHCwAAQBAJ&lpg=PA283&ots=d6d2qsLXtt&dq=Currently%2C%20the%20Malaysian%20oil%20palm%20industry%20is%20facing%20many%20challenges%2C%20allegations%20and%20negative%20perceptions%20by%20some%20NGO%20which%20insinuate%20that%20the%20development%20of%20the%20oil%20palm%20plantations%20is%20not%20sustainable%2C%20pollutes%20the%20environment%20and%20causes%20deforestation%20(M&l&hl=es&pg=PA283#v=onepage&q&f=false)
33. LIEW, Rock Keey, et al. Innovative production of highly porous carbon for industrial effluent remediation via microwave vacuum pyrolysis plus sodium-potassium hydroxide mixture activation. *Journal of cleaner production*, 2019, vol. 208, p. 1436-1445. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.214>
34. Lokman, N. A., Ithnin, A. M., Yahya, W. J., & Yuzir, M. A. A brief review on biochemical oxygen demand (BOD) treatment methods for palm oil mill effluents (POME). *Environmental Technology & Innovation*, 2020, p. 101258. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101258>
35. LÓPEZ, Carmen E. Ocampo; DE LAS SALAS, Luz A. Saumeth; ESPAÑA, José Luis Navarro. Comportamiento oligopólico en el Mercado Mundial de Aceite de Palma 1961-2004. *Ensayos de economía*, 2016, vol. 26, no 48, p. 91-114. ISSN 0124-8693

36. MACARTHUR, Roseline Love; TEYE, Ernest; DARKWA, Sarah. Predicting adulteration of Palm oil with Sudan IV dye using shortwave handheld spectroscopy and comparative analysis of models. *Vibrational Spectroscopy*, 2020, vol. 110, p. 103129. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2020.103129>
37. MAHMUD, Safa Senan, et al. Enhancement of biohydrogen production from palm oil mill effluent (POME): A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2021. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.07.225>
38. MOHAMAD, Zahari, et al. Treatment of palm oil mill effluent using electrocoagulation powered by direct photovoltaic solar system. *Chemical Engineering Research and Design*, 2022, vol. 177, p. 578-582. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2021.11.019>
39. MOHAMAD, Zahari, et al. Treatment of palm oil mill effluent using electrocoagulation powered by direct photovoltaic solar system. *Chemical Engineering Research and Design*, 2022, vol. 177, p. 578-582. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2021.11.019>
40. MULIARI, Muliari; ZULFAHMI, Ilham. Impact of palm oil mill effluent towards phytoplankton community in Krueng Mane River, North Aceh. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 2016, vol. 6, no 2, p. 137-146. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.33512/jpk.v6i2.1107>
41. NAMBIAPPAN, Balu, et al. Malaysia: 100 years of resilient palm oil economic performance. *Journal of Oil Palm Research*, 2018, vol. 30, no 1, p. 13-25. Disponible en: <https://doi.org/10.21894/jopr.2018.0014>
42. NASRULLAH, Mohd, et al. Electrode design for electrochemical cell to treat palm oil mill effluent by electrocoagulation process. *Environmental Technology & Innovation*, 2018, vol. 9, p. 323-341. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2017.10.001>
43. NASRULLAH, Mohd, et al. High performance electrocoagulation process in treating palm oil mill effluent using high current intensity application. *Chinese*

- journal of chemical engineering, 2019, vol. 27, no 1, p. 208-217. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2018.07.021>
44. NESARETNAM, K. Palm oil and its importance from food safety and nutrition perspective. Journal of Food Microbiology Safety and hygiene, 2017, vol. 2, no 2. Disponible en: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/418/1/012003>
45. NG, Kim Hoong; CHENG, Chin Kui. Photo-polishing of POME into CH<sub>4</sub>-lean biogas over the UV-responsive ZnO photocatalyst. Chemical Engineering Journal, 2016, vol. 300, p. 127-138. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.04.105>
46. NG, Kim Hoong, et al. A study into syngas production from catalytic steam reforming of palm oil mill effluent (POME): A new treatment approach. International Journal of Hydrogen Energy, 2019, vol. 44, no 37, p. 20900-20913. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.04.232>
47. OHIMAIN, Elijah Ige; IZAH, Sylvester Chibueze. A review of biogas production from palm oil mill effluents using different configurations of bioreactors. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017, vol. 70, p. 242-253. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.221>
48. PARTHASARATHY, Shridharan, et al. A novel hybrid approach of activated carbon and ultrasound cavitation for the intensification of palm oil mill effluent (POME) polishing. Journal of Cleaner Production, 2016, vol. 112, p. 1218-1226. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.125>
49. SCANES, Colin G. Human activity and habitat loss: destruction, fragmentation, and degradation. En Animals and human society. Academic Press, 2018. p. 451-482. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805247-1.00026-5>
50. SHAHIDA, S.; BA M, HAFIZUDDIN-SYAH; FUAD, SITI HANISAH. Does MSPO certification matter for profitability of Malaysian palm oil companies?. International Journal of Economics & Management, 2019, vol. 13, no 2. Disponible en: [www.thestar.com.my/news/nation/2017/05/19/boycottcan-work-both-ways-says-pm-countries-that-malign-palm-oil-can-be-dealt-with-accordingly](http://www.thestar.com.my/news/nation/2017/05/19/boycottcan-work-both-ways-says-pm-countries-that-malign-palm-oil-can-be-dealt-with-accordingly)

51. TEE, Pei-Fang, et al. Performance evaluation of a hybrid system for efficient palm oil mill effluent treatment via an air-cathode, tubular upflow microbial fuel cell coupled with a granular activated carbon adsorption. *Bioresource technology*, 2016, vol. 216, p. 478-485. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.05.112>
52. WAHI, Rafeah, et al. Utilization of esterified sago bark fibre waste for removal of oil from palm oil mill effluent. *Journal of environmental chemical engineering*, 2017, vol. 5, no 1, p. 170-177. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2016.11.038>
53. WUN, Wee Long, et al. Effect of palm oil mill effluent (POME) treatment by activated sludge. *Journal CleanWAS*, 2017, vol. 1, no 2, p. 6-9. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.26480/jcleanwas.02.2017.06.09>
54. YAP, Cheau Chin; CHAN, Yi Jing. Approaching zero liquid discharge concept using high-rate integrated pilot-scale bioreactor in the palm oil mill effluent (POME) treatment. *En Integrated and Hybrid Process Technology for Water and Wastewater Treatment*. Elsevier, 2021. p. 641-667. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823031-2.00003-3>
55. ZAINAL, Nahrul Hayawin, et al. Reduction of POME final discharge residual using activated bioadsorbent from oil palm kernel shell. *Journal of Cleaner Production*, 2018, vol. 182, p. 830-837. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.110>
56. ZAINAL, Nahrul Hayawin, et al. A review on the development of palm oil mill effluent (POME) final discharge polishing treatments. 2017. Disponible en: <https://doi.org/10.21894/jopr.2017.00012>
57. ZULFAHMI, Ilham, et al. Reproductive performance and gonad histopathology of female Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus 1758) exposed to palm oil mill effluent. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 2018, vol. 44, no 4, p. 327-332. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2018.09.003>
58. ZULFAHMI, Ilham; MULIARI, Muliari; AKMAL, Yusrizal. Indeks hepatosomatik dan histopatologi hati ikan nila (*Oreochromis niloticus* linnaeus 1758) yang



dipapar limbah cair kelapa sawit. En Prosiding SEMDI-UNAYA (Seminar Nasional Multi Disiplin Ilmu UNAYA). 2017. p. 301-314. Disponible en: <http://ocs.abulyatama.ac.id/>