



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

**Técnicas de biodegradación de grasas y aceites en aguas
residuales**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Ambiental**

AUTORES:

Mendoza Castillo, Jharima Solange (ORCID: [0000-0002-8911-0745](https://orcid.org/0000-0002-8911-0745))

Soto Zelaya, Roger Oswaldo (ORCID: [0000-0001-6669-4066](https://orcid.org/0000-0001-6669-4066))

ASESOR:

Dr. Cruz Monzon, Jose Alfredo (ORCID: [0000-0001-9146-7615](https://orcid.org/0000-0001-9146-7615))

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y gestión de los recursos naturales

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA :

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO – PERÚ

2022

Dedicatoria

A Waldir, mi estrella en el cielo.
A Erika, por supuesto.
(Soto Zelaya, Roger Oswaldo)

A Dios, por haberme permitido llegar a esta etapa de mi vida profesional, dándome fortaleza, inspiración para llevar a cabo esta tesis y poder obtener lo más deseado de mi vida profesional.

A mi padre Wilson, por ser el más perseverante, por su ejemplo de lucha y de coraje. **A mi madre** Fanny, por ser la persona que me enseñó a seguir adelante a pesar de las circunstancias y por su apoyo en todo momento.

A mi pequeño Naim, que es mi mejor inspiración de cada día para esforzarme mucho y cumplir este sueño.

(Mendoza Castillo, Jharima)

Agradecimiento

Agradezco el apoyo incondicional e infinito de mis queridos padres Rolando y Dolora. Además, agradezco el apoyo de mis tíos, primos y de todas las personas que de alguna manera me apoyaron en este largo camino para poder cumplir mis metas propuestas. Así mismo, un agradecimiento especial para Marinell, Evelyn, Séfora, Carol, Yamilé y Marlys.

(Soto Zelaya, Roger Oswaldo)

Agradecer a mis padres por el apoyo para poder cumplir mis metas. También dar las gracias a nuestro asesor el Ing. José Alfredo Cruz Monzón por compartir sus conocimientos, paciencia y sus recomendaciones; ser el guía en todo nuestro proceso para lograr la culminación y desarrollo de la tesis.

(Mendoza Castillo, Jharima Solange)

Índice de contenidos

Carátula	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de figuras	v
Índice de tablas	vi
Resumen	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	10
3.1. Tipo y diseño de investigación	10
3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización.....	10
3.3. Escenario de estudio	10
3.4. Participantes.....	10
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	11
3.6. Procedimientos	11
3.8. Método de análisis de datos	13
3.9. Aspectos éticos.....	13
IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
V. CONCLUSIONES.....	32
VI.RECOMENDACIONES	33
REFERENCIAS	34

ANEXOS

Índice de figuras

Figura 1: Flujograma del procedimiento de búsqueda de los artículos	12
Figura 2: Diseños de estudios de los artículos seleccionados	18
Figura 3: Microorganismos utilizados en los artículos	19
Figura 4: Phylum de las bacterias utilizados en los artículos	19
Figura 5: Art. con porcentajes de remoción para los campos de búsqueda	20
Figura 6: Remoción de grasas y aceites	21
Figura 7: Técnicas de biodegradación y porcentajes de remoción de DQO	25

Índice de tablas

Tabla 1: Microorganismos y porcentajes de remoción de grasas	14
Tabla 2: Técnicas de biodegradación y porcentajes de remoción de DQO	24
Tabla 3: Técnicas de biodegradación y parámetros fisicoquímicos	27

Resumen

La remoción física de grasas y aceites es un procedimiento común que se realiza en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, estos métodos generan una gran cantidad de residuos que son difíciles de manipular y eliminar. Por ello, las técnicas de biodegradación se presentan como una alternativa de solución. El propósito de esta revisión fue evaluar las principales técnicas de biodegradación de grasas y aceites de aguas residuales, reportadas en la literatura científica, en el período 2015 a 2022. Para ello, se realizó una búsqueda sistemática de artículos de revistas indexadas con criterios de inclusión, exclusión y calidad de tres bases de datos: ScienceDirect, Scopus y ProQuest. Los resultados de la investigación mostraron que la bioestimulación, a escala de laboratorio, ha sido reportada con altos porcentajes de remoción de grasas y aceites, aceites, sólidos volátiles en suspensión y DQO. Estos valores fueron: 97,9%, 89,97%, 76,0% y 97,0%, respectivamente. Así mismo, esta técnica utilizó bacterias de los géneros *Bacillus* y *Pseudomonas* principalmente para degradar compuestos orgánicos. En conclusión, la bioestimulación es la técnica más eficiente para degradar grasas y aceites por la acción catalizadora de la lipasa en la hidrólisis de los enlaces moleculares de los triglicéridos.

Palabras clave: Biodegradación, bioestimulación, lipasa, *Bacillus*, *Pseudomonas*.

Abstract

The physical removal of fats and oils is a common procedure performed in wastewater treatment plants. However, these methods generate a lot of waste that is difficult to handle and dispose of. Therefore, biodegradation techniques are presented as an alternative solution. The purpose of this review was to evaluate the main techniques for the biodegradation of fats and oils from wastewater, reported in the scientific literature, in the period 2015 to 2022. To do this, a systematic search of articles from journals indexed with inclusion criteria was carried out, exclusion and quality of three databases: ScienceDirect, Scopus and ProQuest. The results of the research showed that biostimulation, at a laboratory scale, has been reported to reach maximum values for the removal of fats and oils, suspended volatile solids and COD. 97.9%, 89.97%, 76.0%, 97.0%, respectively. Likewise, this technique used bacteria of the *Bacillus* and *Pseudomonas* genera mainly to degrade organic compounds. In conclusion, biostimulation is the most efficient technique to break down fats and oils through the catalytic action of lipolytic enzymes in the hydrolysis of the molecular bonds of triglycerides.

Key words: Biodegradation, biostimulation, lipase, *Bacillus*, *Pseudomonas*.

I. INTRODUCCIÓN

Los lípidos como las grasas y aceites son componentes significativos de las aguas residuales producto de las industrias de procesamiento de alimentos, restaurantes, lácteos, refinerías de petróleo, procesamiento de comida, curtiduría, cosméticos y las industrias farmacéuticas (Venugopal y Sasidharan, 2020, p. 5). De este modo, las aguas residuales de las industrias lácteas contienen, aproximadamente, 8288 mg/l de grasas y aceites, mientras el contenido de grasas y aceites de las refinerías de petróleo están en el intervalo de 110 mg/l a 4150 mg/l, para las industrias del envasado de alimentos el contenido está entre 100 mg/l a 1000 mg/l, así mismo, en las aguas residuales domésticas el contenido está en el rango de 50 a 1000 mg/l (Nimkande y Bafana, 2022, p. 1).

Por otro lado, la remoción física de grasas y aceites es un procedimiento común que se basa en su eliminación debido a sus bajas densidades, entre 920 g/l y 964 g/l, con relación al agua, lo que permite la flotación de estos residuos (Cisterna y Arancibia, 2019, p. 1). La flotación es utilizada en la separación de fluidos inmiscibles o sólidos y es la técnica más usual en el tratamiento de aguas residuales que son llevadas a cabo en plantas de tratamientos. Sin embargo, esto genera muchos residuos de grasas y aceites que son difíciles de eliminar y manipular (Jazm y Ni 2019, p. 44). Por tal motivo, se ha incrementado la búsqueda de soluciones sustentables con el medio ambiente y las técnicas de biodegradación se presentan como una alternativa (Zuin et al. 2020, p. 4).

La bioestimulación es una técnica para degradar grasas y aceites (Abdillah et al. 2019, p. 196). Esta técnica inicia la degradación de los compuestos orgánicos estimulando el crecimiento de bacterias naturales que habitan sitios contaminados. Aquello puede lograrse agregando varios tipos de nutrientes como fósforo, nitrógeno, oxígeno, aceptores de carbono y electrones. Por ende, la bioestimulación se encuentra entre los mejores métodos para la degradación de grasas y aceites. Sin embargo, los recientes avances en isótopos estables, geofísica y microbiología molecular son prometedores y pueden ayudar a mejorar el control y el rendimiento de la bioestimulación (Kumar et al. 2022, p. 6). Más aún, debido a las bajas densidades y solubilidades, las grasas y los aceites no pueden ser fácilmente

utilizados y removidos mediante tratamientos biológicos como los lodos activados, en comparación con los carbohidratos y el almidón. Así mismo, el alto contenido de aceites inhibe la actividad microbiana de los lodos activados, que conlleva al crecimiento de bacterias filamentosas y generación de residuos. Sumado a ello, la presencia de polifenoles en los residuos del aceite podría afectar negativamente el rendimiento de los lodos activados (Wang et al. 2022, p. 2). Por tal motivo, muchos enfoques de aumentación se han aplicado, entre ellos la oxidación química, ultrasonidos y aplicación de microorganismos especializados. Estos métodos, a menudo, resultan ser muy costosos para su aplicación a nivel industrial (Abdulsalam et al., 2020, p. 2). Contrariamente, la bioaumentación con ciertos microorganismos han ganado considerable importancia porque pueden mejorar la capacidad degradadora del sistema mediante la remodelación de la estructura microbiana utilizando microorganismos funcionales (Boonnorat et al., 2018, p. 772). Entre ellos, *Bacillus sp.* (Kumar et al. 2015, p. 383), *Rhodopseudomonas sp.* (Nhi-Cong et al., 2019, p. 313), *Pseudomonas sp.* (Liang et al. 2018, p. 90).

Por otro lado, existen dos tipos de biodegradación de compuestos orgánicos de acuerdo a la dependencia de oxígeno, la biodegradación aeróbica y la biodegradación anaeróbica (Samarasiri et al., 2022, p. 2) (Tzirita, Papanikolaou y Quilty, 2018, p. 174). Los tratamientos aeróbicos necesitan de un flujo de aire y producto de la degradación microbiana se generan CO₂ y grandes cantidades de lodos; los cuales son llamados lodos activados y son considerados productos más factibles para el tratamiento de aguas residuales industriales (Cisterna y Arancibia, 2019, p. 2). Contrariamente, en los tratamientos anaeróbicos los procesos microbiológicos se llevan a cabo en ausencia de oxígeno o de alguna corriente de aireación adicional; producto de la degradación de compuestos orgánicos se generan lodos en baja cantidad, CO₂ y metano. Por lo tanto, los tratamientos anaeróbicos resultan tener ciertas ventajas frente a los tratamientos aeróbicos: fácil implementación, no requiere un flujo de oxígeno, baja o ninguna demanda energética y menor generación de lodos (Han, Reinhard y Gin, 2018, p. 180).

Por lo expuesto anteriormente, en esta revisión se planteó el siguiente problema de investigación: ¿Cuáles serán las técnicas de biodegradación más eficientes de grasas y aceites de aguas residuales?

En ese sentido, conocer las técnicas adecuadas para degradar grasas y aceites de aguas residuales disminuirá significativamente la generación de residuos, el ahorro energético, el ahorro en costos de mantenimiento y reparaciones, evitará daños a los ecosistemas acuáticos y de alcantarillado (Muhammad et al. 2021, p. 2) (Collin et al. 2020, p. 400) (Ries et al. 2020, p. 3). Por lo tanto, la revisión se justificó socialmente, ya que los conocimientos generados podrían ayudar a repotenciar las plantas de tratamiento de aguas residuales o mejorar la eficiencia de los biorreactores a escala industrial para una mejor gestión del agua en términos de calidad y cantidad para diferentes usos. Así mismo, la revisión se justificó económicamente, ya que las conclusiones obtenidas y aplicadas en plantas de tratamientos y biorreactores industriales podrían generar el ahorro al reemplazar los insumos químicos costosos y peligrosos por biomateriales como los microorganismos para la degradación de las grasas y aceites. Del mismo modo, la tesis se justificó ambientalmente, porque los resultados incrementaron los conocimientos científicos para el tratamiento seguro y sostenible de los residuos orgánicos.

El objetivo general de la investigación fue evaluar las principales técnicas de biodegradación de grasas y aceites de aguas residuales, a nivel mundial, desde el año 2015 a 2022 en base a una revisión sistemática de artículos de revistas indexadas. Así mismo, los objetivos específicos fueron evaluar la eficiencia de remoción de grasas y aceites en aguas residuales según el tipo de agente biodegradante, evaluar la eficiencia de remoción de DQO en aguas residuales según el tipo de técnica de biodegradación y evaluar las condiciones de pH, temperatura y tiempo que permiten la degradación eficiente de grasas y aceites según las técnicas de biodegradación.

II. MARCO TEÓRICO

Wang et al., (2022), en su artículo de investigación "Lipid degrading microbe consortium driving micro-ecological evolution of activated sludge for cooking wastewater treatment" diseñaron un consorcio de microorganismos degradadores de lípidos para mejorar los lodos activados en la purificación de aguas residuales domésticas. Encontraron que el consorcio puede degradar rápidamente altas concentraciones de aceites (remoción superior a 93% a 5000 mg/L) como única fuente de carbono bajo diversas condiciones ambientales (10-45 °C, pH 2.0-12.0). Con la inoculación del consorcio, el rendimiento del tratamiento del agua por lodos activados mostró una significativa mejora, lo que eliminó entre un 36.10 y un 48.93% más de demanda química de oxígeno (DQO) y nitrógeno amoniacal de las aguas residuales que el control. Por análisis GC/MS, sugirieron una degradación gradual al final de la cadena de ácidos grasos. Además, la inoculación del consorcio cambió significativamente la estructura de la comunidad microbiana del lodo, mejoró su estabilidad, facilitó el enriquecimiento de degradadores de lípidos y genes funcionales relacionados con la degradación de lípidos. Así mismo, encontraron que degradadores de lípidos incluyendo *Nakamurella sp.* y *Stenotrophomonas sp.*, etc. jugaron un rol importante durante la degradación del aceite. Además, identificaron a la bacteria *Kineosphaera sp.* como estabilizador de la estructura del lodo activado bajo estrés exógeno.

Tzirita, Papanikolaou y Quilty (2018), en su trabajo de investigación " Enhanced fat degradation following the addition of a *Pseudomonas* species to a bioaugmentation product used in grease traps ", se plantearon como objetivo determinar la capacidad de degradar mantequilla y aceite de oliva de una cepa de *Pseudomonas*. La metodología que siguieron fue investigar un producto de bioaumentación, la bacteria *Bacillus spp.*, para degradar mantequilla (1%, W/V) y aceite oliva (1%, V/V) realizaron cultivos aeróbicos por lotes durante 13 días de incubación. El análisis gravimétrico de los sustratos mostró una lenta degradación del aceite, pero ningún cambio en la mantequilla. Sin embargo, la adición de una cepa de *Pseudomonas putida* a la población de *Bacillus spp.*, promovió la rápida degradación tanto del aceite como de la mantequilla después de 7 días de incubación. La producción de lipasa solo por *Bacillus spp.* junto con el análisis de los lípidos restantes con

técnicas cromatográficas sugirió que el *Bacillus spp.* principalmente hidrolizó la grasa. En seguida, los productos de degradación como los ácidos grasos fueron metabolizados por las bacterias *Pseudomonas putida*.

Así mismo Sayed et al., (2021), en su artículo " Potential biodegradation of Tapis Light Crude Petroleum Oil, using palm oil mill effluent final discharge as biostimulant for isolated halotolerant *Bacillus strains* " se plantearon como objetivo construir un consorcio bacteriano autóctono eficiente para biodegradar películas de aceites de petróleo crudo. Los efluentes finales descargados de las aguas residuales agroindustriales locales del molino de aceite de palma fueron usados como bioestimulante para mejorar la eficiencia de la biodegradación. Los investigadores aislaron tres bacterias degradantes de películas de aceites de petróleo de una muestra recolectada de agua de mar. Luego, realizaron la identificación molecular usando la secuencia de genes 16SrRNA y los resultados mostraron que estas cepas aisladas pertenecían a las bacterias *Bacillus tropicus*, *Bacillus licheniformis* y *Bacillus subtilis*. La capacidad de degradación del consorcio bacteriano fue investigada usando diferentes concentraciones de la descarga final de los efluentes del molino de aceite de palma (0.1, 0.25, 0.5 y 1%) como bioestimulante y películas de aceite de petróleo (0.5 y 1%). Se analizó las láminas de aceite residuales en medio de cultivo después de 40 días. Los resultados confirmaron que la dosis de 0.25% de efluentes del molino de aceite de palma era óptima para el consorcio bacteriano y puede degradar el 99.85% de las películas de aceite de petróleo al 0.5%. Sin embargo, la degradación de películas de aceite de petróleo con dosis de efluentes del molino de aceite de palma (0.25%) en películas de aceite de petróleo (1%) encontraron como la más eficiente, dando como resultado 95.23 %.

Por otro lado, Cisterna y Arancibia (2019), en su trabajo de investigación "Comparison of Biodegradation of Fats and Oils by Activated Sludge on Experimental and Real Scales", se plantearon como objetivo demostrar la eficiencia de los tratamientos biológicos frente a los tratamientos físicos de aguas residuales. Para ello, estudiaron la degradación de grasas y aceites de aguas residuales en una planta de tratamiento de aguas residuales real y una unidad de tratamiento a escala de laboratorio. La planta fue diseñada para una población de 200 mil habitantes. Incluye un digestor aeróbico que recibe las grasas y los aceites

retenidos en un desengrasante y trata ambos residuos junto con biomasa. Los investigadores estudiaron parámetros fisicoquímicos como la concentración de grasas y aceites en los afluentes y efluentes, carga masiva y eficiencia de biodegradación. El rango de carga de masa fue similar en ambos sistemas de tratamiento. En la planta experimental de lodos activados, la biodegradación de grasas y los aceites alcanzaron niveles en el rango de 64% a 75%. Para la planta de tratamiento de aguas residuales con un digestor aeróbico, los niveles de biodegradación de grasas y aceites oscilaron entre el 69% y el 92%.

Nimkande y Bafana (2022), es su artículo de revisión "A review on the utility of microbial lipases in wastewater treatment" intentan discutir y revisar los limitados estudios sobre el uso de la lipasa en el tratamiento de aguas residuales. La revisión se centra principalmente en las fuentes de lípidos descargados en las aguas residuales y las preocupaciones asociadas, técnicas existentes de eliminación de lípidos, la aplicabilidad del tratamiento asistido por la lipasa para lípidos que contienen las aguas residuales. Además, los autores resumen la disponibilidad comercial de la lipasa y la necesidad de un mayor desarrollo para su aplicación ambiental.

Adicionalmente, los estudios recientes acerca del uso de enzimas para el tratamiento de grasas y aceites de aguas residuales proponen el uso de enzimas especializadas para la degradación de estos residuos. Por ejemplo, Cheng et al., (2021), en su investigación "Sustainable enzymatic technologies in waste animal fat and protein management" sostienen que los residuos industriales como las proteínas de origen animal están en aumento y suponen un gran desafío para su eliminación adecuada aumentando riesgos muy dañinos para el medio ambiente. Sin embargo, estos residuos se pueden reutilizar de forma ecológica y renovable. Proponen el uso de las tecnologías enzimáticas para la gestión de las grasas y proteínas de origen animal desechadas en las industrias. En su trabajo de revisión discutieron la aplicación de varias enzimas en conversión de estos desechos en biodiesel de valor agregado, además propusieron nuevas biotecnologías para descubrir nuevas enzimas.

Los residuos arrojados a los cuerpos hídricos pueden ser físicos, químicos y biológicos. Los desechos orgánicos ocasionan la disminución del oxígeno, debido

a la degradación biológica de los compuestos. Por otro lado, la contaminación por sustancias inorgánicas, la consecuencia en el agua es su posible efecto tóxico (Morrissey 2018, p. 1).

Las aguas que son usadas para propósitos higiénicos contienen desechos fisiológicos y provienen de los hogares, zonas residenciales e industriales. Por otro lado, las aguas utilizadas en procesos industriales tienen determinadas características de acuerdo al tipo de industria (Jazm y Ni 2019, p. 41).

Por ejemplo, las industrias petroquímicas, textil, curtiduría, láctea, etc., generan aguas residuales con altas cantidades de aceites, grasas, demanda química como biológica de oxígeno y sólidos suspendidos totales (Rani y Kumar 2021, p. 2). Los desechos orgánicos requieren cierta cantidad de oxígeno para ser degradados. Por lo tanto, en los cuerpos de agua el exceso de contenido orgánico origina el desarrollo de poblaciones de bacterias y hongos. El oxígeno usado para la oxidación de los desechos orgánicos, ocasiona el consumo del oxígeno del ecosistema acuático. Por lo tanto, se generan cambios en la calidad del agua y posibles cambios de pH (Lecca y Lizama 2014, p. 74).

Las grasas y aceites son compuestos orgánicos muy estables y difícilmente biodegradables; sin embargo, son atacados por ácidos minerales, originando ácidos grasos y glicerina. Los efectos producidos por las grasas y aceites originados en las industrias se deben a su baja densidad, y se extiende sobre la superficie, formando delgadas películas que dificultan los procesos biológicos del oxígeno (Sharma et al., 2019, p. 301). Por lo tanto, una de las consecuencias más importantes está relacionada con la oxigenación, debido al originarse una capa muy fina en la superficie que dificulta el intercambio de oxígeno entre el aire y el agua impidiendo la producción de oxígeno disuelto. Además, absorbe los rayos solares afectando la actividad fotosintética (Sudmalis et al., 2018, p. 33).

Los residuos de aceites desechados en cuerpos de agua son fuentes de contaminación ya que las emulsiones de aceite libre tienen la capacidad de cubrir la superficie, además, destruir algas y plancton. Esta capa superficial impide los procesos de aireación y fotosíntesis. Así mismo, los residuos sedimentables del aceite pueden cubrir el lecho de los cuerpos acuáticos y arruinar las áreas donde

las especies se reproducen y desovan (Sanghamitra, Mazumder y Mukherjee, 2021, p. 394).

Las grasas y aceites son sustancias orgánicas compuestos fundamentalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal. Además, comprenden también a los hidrocarburos del petróleo. Las grasas y aceites están constituidos principalmente por ésteres de propanotriol, glicerina y ácidos grasos y se les conoce como ésteres triglicéridos (Lycourghiotis et al. 2021, p. 774).

Desde el enfoque estructural el triglicérido se forma debido a una reacción de una molécula de glicerina con tres moléculas de ácidos grasos, produciendo tres moléculas de agua y una molécula de un triglicérido. Además de los triglicéridos, las grasas de origen natural contienen ciertos compuestos no glicéridos que, en su mayoría, son insaponificables constituidos de esteroides, hidrocarburos y tocoferoles principalmente (Xu et al. 2022, p. 2).

Los lípidos son una serie de biomoléculas que se distinguen principalmente por la no solubilidad en agua. Sin embargo, presentan solubilidad en solventes apolares como el benceno, cloroformo, hexano, entre otros. Además, los lípidos cuando están estado sólido son llamados grasas y cuando se encuentran es estado líquido a temperatura ambiente son llamados aceites (Cabezas et al., 2016, p. 762).

Los triglicéridos que forman la mayor parte de todas las grasas y aceites naturales se clasifican en simples y mixtos, de acuerdo a su constitución (Cabezas et al., 2016, p. 763).

Por ejemplo, un triglicérido es simple cuando tiene tres radicales de ácidos grasos idénticos. Los triglicéridos que no tienen iguales radicales de ácidos grasos se denominan triglicéridos mixtos. Cada triglicérido que contienen dos o más radicales ácidos diferentes, tienen distintas formas isómeras posibles, dependiendo de la colocación de ácidos grasos en la molécula del triglicérido (Srivastava y Mishra, 2021, p. 1).

Las tecnologías aplicadas en una planta de tratamiento de aguas residuales denominados PTAR depende de la calidad del efluente que se requiera alcanzar para luego ser devuelto a un cuerpo natural o ser rehusado sin poner en peligro la

salud de las personas y deben cumplir además con las normativas vigentes de un determinado lugar (Jazm y Ni 2019, p. 45).

Entre las metas del tratamiento por agentes biológicos aplicados a las aguas residuales está la coagulación, eliminación de sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica. Para las aguas residuales domésticas, el objetivo principal es la reducción de los desechos orgánicos y la eliminación de nutrientes. Por otro lado, el objetivo principal para aguas residuales industriales es la reducción de compuestos tanto orgánicos como inorgánicos, que generalmente requieren un tratamiento previo debido a su toxicidad frente a los microorganismos (Han, Reinhard y Gin, 2018, p. 183).

Así mismo, en las técnicas de biodegradación los microorganismos producen enzimas lipolíticas para romper el enlace éster entre el ácido graso y el glicerol en las moléculas del triglicérido, las lipasas son carboxilo-esterasas y catalizan la hidrólisis de los triglicéridos. Se producen sobre la interfase aceite-agua por varios microorganismos, incluyendo levaduras, bacterias y hongos, que se propagan en diferentes hábitats, especialmente donde abundan las grasas (Samarasiri et al. 2022, p. 2). La mayoría de ellos tienen un metabolismo facultativo aeróbico o anaeróbico: Por ejemplo, los hongos filamentosos (*Rhizopus sp.*, *Aspergillus sp.*, *Geotrichum sp.*, *Mucor sp.*, y *Rhizomucor sp.*) y levaduras (*Candida spp.*, *Yarrowia Lypolitica*, *Rhodotorula spp.* y *Pichia spp.*, entre otras). Varias especies de bacterias aeróbicas también son productoras de lipasa, como *Bacillus spp.*, *Pseudomonas spp.* y *Burkholderia spp.* Los microorganismos lipolíticos son a menudo seleccionados de sustratos ricos en lípidos y son utilizados para acelerar la degradación de las grasas. Son principalmente aeróbicos, y el propósito de la degradación es reducir la demanda química de oxígeno, sin la producción de biogás (Marchetti 2020, p. 2835).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

La revisión sistemática, en función a su propósito, fue de tipo básica ya que las conclusiones obtenidas permitieron incrementar los conocimientos científicos y el desarrollo de nuevas teorías. Así mismo, por el nivel y la profundidad de los datos la revisión fue de corte cualitativa, ya que se mostraron los resultados de los artículos directamente sin análisis estadístico. Por otro lado, el diseño de la investigación de acuerdo a la manipulación de variables fue no experimental.

3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización

En la investigación se consideraron “Remoción de grasas y aceites”, “Demanda química de oxígeno” y “Parámetros fisicoquímicos” como categorías. Así mismo, se establecieron para cada una de ellas sus respectivas subcategorías: Remoción de carbono orgánico, grasas y aceites, sólidos totales suspendidos y sólidos volátiles suspendidos para la primera. Demanda química de oxígeno debido a la materia orgánica suspendida para la segunda. Potencial de hidrógeno, temperatura y tiempo para la tercera categoría. Del mismo modo, para cada una de ellas se establecieron sus respectivos criterios: según el tipo de agente biodegradable para la primera, de acuerdo a la técnica de biodegradación para la segunda y según la dependencia de oxígeno para la tercera categoría. La matriz de categorización se muestra en el anexo 1.

3.3. Escenario de estudio

En la investigación se utilizaron las bases de datos ScienceDirect, Scopus y ProQuest como escenarios de estudio, ya que ellas contenían los artículos científicos de interés. Para tal propósito, el acceso a dichas bases de datos fue proporcionado por la biblioteca virtual de la Universidad César Vallejo.

3.4. Participantes

Se seleccionaron cuidadosamente un total de 30 artículos científicos de revistas indexadas, a nivel mundial, relacionadas con el tema de investigación, y que contribuyeron con información necesaria para la elaboración de las conclusiones de la revisión. De este modo, los artículos fueron recopilados en base a los objetivos específicos mediante rigurosos criterios de inclusión, exclusión y calidad.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En la revisión se llevó a cabo el análisis documental. Para ello, se utilizó como instrumento una ficha de recolección de datos usando una hoja de procesamiento del programa Microsoft Excel, en el cual se consideraron los campos de búsqueda, entre ellos: Autor y año, agentes biodegradantes, sustratos, tipo de agua residual, grasas y aceites, sólidos totales suspendidos, sólidos volátiles suspendidos, carbono orgánico, demanda química suspendida, técnicas de biodegradación, tipos de degradación y parámetros fisicoquímicos. Así mismo, porcentajes de remoción de carbono orgánico, de grasas y aceites, de sólidos suspendidos totales, de sólidos suspendidos volátiles y porcentajes remoción de demanda química de oxígeno suspendido.

3.6. Procedimientos

En primer lugar, se utilizaron (“Biodegradation” AND “fats” AND “oil” AND “sewage”) como palabras claves para la búsqueda de todo tipo de documentación científica en 3 bases de datos: ScienceDirect, Scopus y ProQuest. En seguida, se procedió a refinar la búsqueda en cada base de datos con los criterios de inclusión: fecha, tipo de documento e idiomas, área de investigación y tipo de acceso. Luego de esta etapa, se filtró aún más la búsqueda con los criterios de exclusión: fuente de información y temas de investigación. De este modo, el número total de artículos ascendió a 6 en ScienceDirect, 9 en Scopus y 16 en ProQuest. Después, se combinaron todos los documentos preseleccionados de las tres bases de datos y se eliminaron aquellos duplicados dando un total de 30 artículos científicos como se muestra en la figura 1. Una vez seleccionados los artículos, se procedió a recolectar la información utilizando una ficha de búsqueda como se muestra en el anexo 2. Seguidamente, la data se ordenó en tablas por cada objetivo específico de acuerdo al diseño del experimento desarrollado en los artículos. Así mismo, los datos numéricos se homogeneizaron en unidades y los resultados obtenidos se compararon y discutieron con otras investigaciones. Finalmente, se elaboraron las conclusiones respectivas de la presente revisión sistemática.

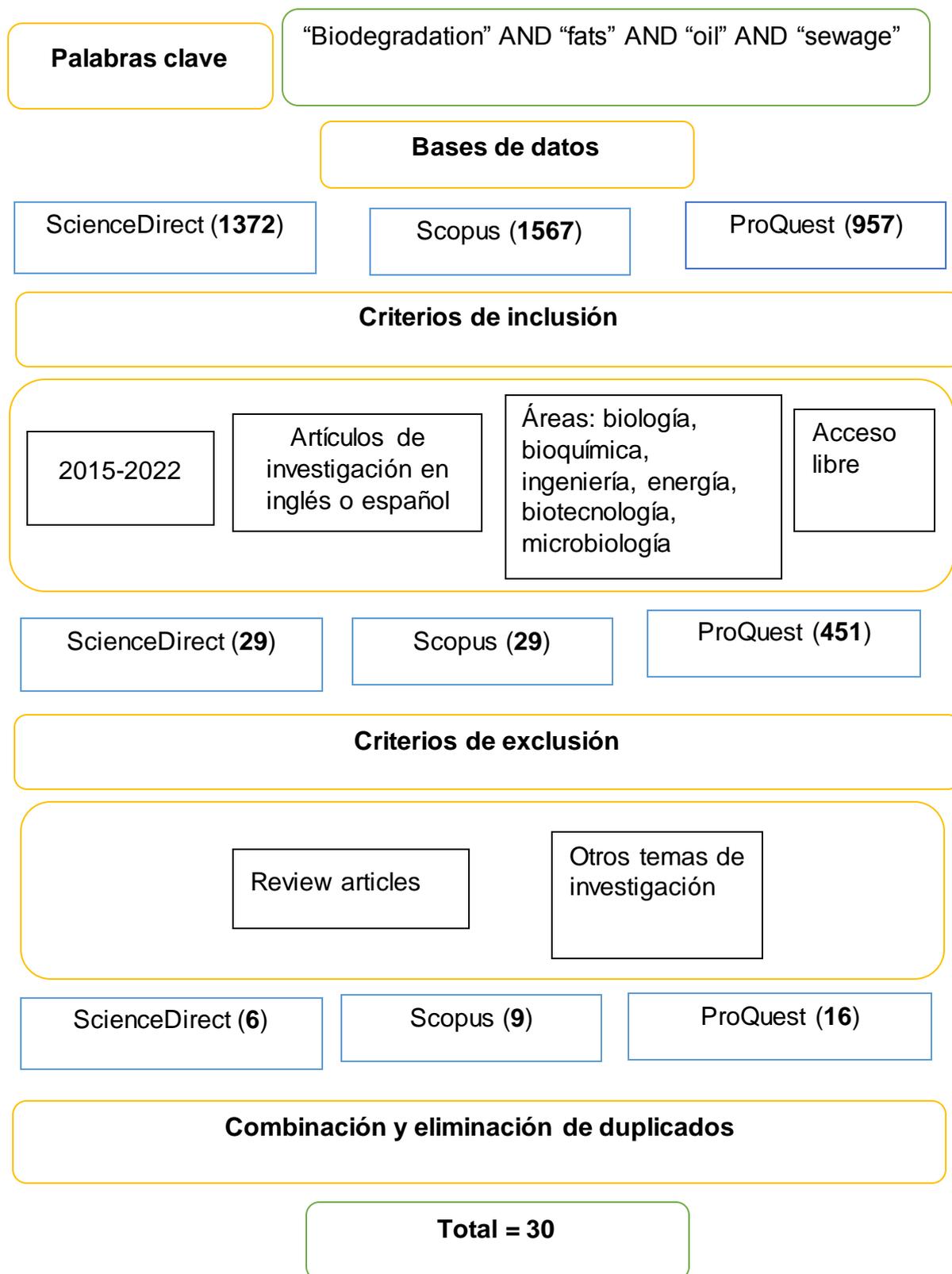


Figura 1. Flujograma del procedimiento de búsqueda de los artículos.

3.7. Rigor científico

La selección de los artículos fue realizada siguiendo criterios de inclusión, exclusión y de calidad de tres bases de datos altamente confiables con documentos científicos aprobados y evaluados por expertos. Siendo así, la revisión cumplió con los parámetros de credibilidad, transferibilidad, dependencia y de calidad como exige una investigación científica.

3.8. Método de análisis de datos

Luego de analizar el contenido de un determinado artículo, los datos de interés fueron seleccionados de acuerdo a los objetivos específicos propuestos en la matriz de categorización como se muestra en el anexo 1 y se ordenaron en un determinado campo de búsqueda establecidos en la ficha de recolección de datos como se muestra en el anexo 2.

3.9. Aspectos éticos

Los datos que se recopilaron en esta investigación se manejaron de manera ordenada, responsable, sin adulteración de la información y se muestran tal y como aparecen en los artículos originales. Así mismo, los autores fueron debidamente reconocidos y citados siguiendo las normas ISO 690 e ISO 960-2.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 1. Microorganismos y porcentajes de remoción de grasas y aceites

Autor y año	DE	Inoculantes		Sustrato pre digestión en mg/l				Sustrato post digestión-% de remoción		
		Agente	Phylum (especie)	Sustratos	GA	SVS	COt	GA	SVS	COt
Li y Shimizu (2021)	E. P	Bacterias	<i>Pseudomonadota (Pseudomonas fluorescens)</i>	Glicerol crudo y residuos alimentarios		1000				63.5
Choudhur y Lansing (2019)	E. P	Bacterias	<i>Pseudomonadota (E. coli, Salmonella entérica)</i>	Residuos gomosos, comida, grasas y restos de productos lácteos	3134					34
Ziels et al. (2015)	E. P	Bacterias	<i>Bacillota, Thermodesulfobacteriota</i>	Ácido oleico	4946.8	5400				69
Sekaran (2019)	E. P	Bacterias	<i>Bacillota (Bacillus pumilus)</i>	Aceite de palma	880					86.78

Wang, Liu y Hao (2019)	E. P	Bacterias	<i>Bacillota (Bacillus cereus XN12)</i>	Aceite dietético	5000	89.97
Yan et al. (2018)	E. P	Bacterias	<i>Pseudomonadota Bacillota</i>	Aceite de soja	15	66.04
Cisterna, Gutiérrez y Sastre (2015)	E. P	Bacterias	<i>Bacillota (Leuconostoc mesenteroides)</i>	Aceite de girasol, sacarosa	4.38	74
Kachieng y Momba (2017)	E. P	Eucariota	<i>Ciliophora, Euglenozoa</i>	Aceite de petróleo	250	90
Ibrahim et al. (2020)	E. P	Bacterias	<i>Actinomycetota</i>	Aceite de canola	360	87.61
Sarantou et al. (2021)	E. P	Fungi (<i>Yarrowia, Rhodosporidium</i>)		Glicerol	90000	88
Al-wasify, Ali y Hamed (2017)	E. P	Bacterias	<i>Pseudomonadota (Pseudomonas aeruginosa), Bacillota (Bacillus subtilis, Lactobacillus delbrueckii,</i>	Grasas y aceites	148	97.9

			<i>Staphylococcus aureus,</i> <i>Enterococcus hirae)</i>			
Phommachanh, Chiemchaisri y Chiemchaisri (2021)	E. P	Bacterias	<i>Pseudomonadota</i> (<i>Pseudomonas putida</i>)	Grasas y aceites	620	79.77
Pascale et al. (2019)	E. P	Bacterias	<i>Pseudomonadota</i>	Grasas	6610	41
Wang et al. (2022)	E. P	Bacterias	<i>Actinomycetota,</i> <i>Pseudomonadota</i>	Aceite	5000	55
Dong et al. (2022)	E. P	Archaea	<i>Euryarchaeota</i>	Trioleato de glicerina	28571	27.3
He et al. (2021)	E. P	Bacterias-archea	<i>Spirochaetota,</i> <i>Spirochaetota,</i> <i>Euryarchaeota</i>	Grasas	1440	76
Elamati et al. (2021)	E. P	Microalgas (<i>Coelastrella,</i> <i>Scenedesmus</i>)		Aceite	1500	90

Alabdall et al. (2021)	E. P	Fungi (<i>Aspergillus</i>)		Grasas	25000			90	
Katam y Bhattacharyya (2018)	C.E	Microalgas (<i>Scenedesmus</i> , <i>Chlorella</i>)		Grasas y aceites			735.5	80	90
Gonçalves et al. (2019)	C.E	Bacterias	<i>Thermodesulfobacteriota</i> <i>Actinomycetota</i> , <i>Pseudomonadota</i>	Grasas y aceites	1325	215	1000		68.1
Sunada et al. (2018)	C.E	Bacterias	<i>Pseudomonadota</i>	Estiércol animal y aceite de cocina usado	2269.2			51.4	
Tuan et al. (2021)	C.E	Bacterias		Grasas y aceites	6820	1524		90	95
Porwal, Mane y Velhal (2015)	C.E	Bacterias	<i>Bacillota</i>	Grasas y aceites	156			98	
Ke et al. (2021)	C.E	Bacterias	<i>Bacillota</i>	Aceite	45000			86	
Ansari (2022)	C.E	Bacterias		Grasas y aceites	1722			94	
Cisterna y Arancibia (2019)	P. E	Bacterias		Grasas y aceites				88	

Fuente: Elaboración propia. Además, DE: diseño del experimento (E.P: experimental puro, C.E: cuasi experimental, P.E: preexperimental), GA: grasas y aceites, SVS: sólidos volátiles suspendidos, COt: carbono orgánico total.

Como resultados, de los 30 artículos seleccionados, 26 de ellos contenían información acerca de los porcentajes de biodegradabilidad de grasas y aceites junto con los microorganismos usados en las técnicas de biodegradación. Como se muestra en la tabla 1. Así mismo, de este conjunto 18 artículos pertenecían a estudios con diseño experimental puro (E.P), 7 a estudios con diseño cuasiexperimental (C.E) y un artículo con diseño preexperimental (P.P) como se muestra en la figura 2.

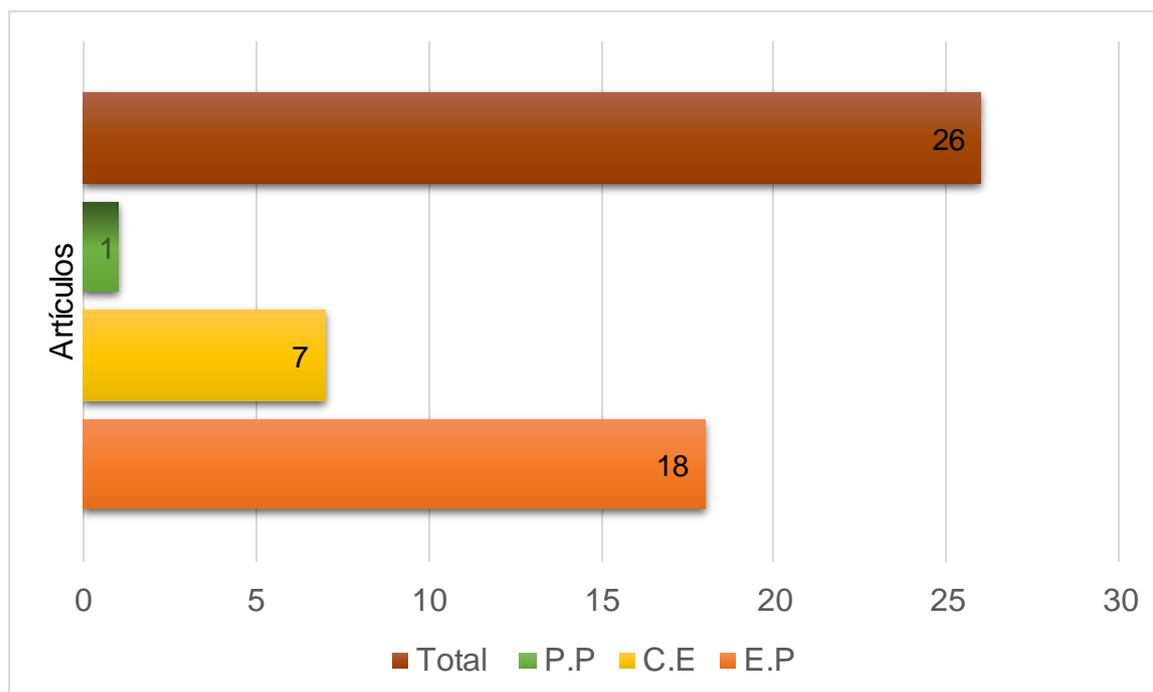


Figura 2. Tipos de diseños de estudios de los artículos seleccionados.

De la figura 2, los resultados evidenciaron que hay mayor desarrollo de estudios a nivel de laboratorios que aquellos desarrollados en biodigestores caseros. Del mismo modo, Nimkande y Bafana (2022), en su artículo de revisión observó que los estudios acerca de la biodegradabilidad de grasas y aceites por acción de la lipasa aún están desarrollándose en los laboratorios para su posterior aplicación a nivel industrial. Así mismo, Marchetti (2020) menciona la importancia de los biodigestores para la degradación del aceite de cocina por medio de asociaciones de bacterias y obtener así biocombustibles.

Por otro lado, en los 26 artículos seleccionados con diseño experimental puro, cuasi experimental y preexperimental se observaron principalmente el uso de enzimas de

bacterias, hongos, microalgas, arqueas y algunas asociaciones de bacterias con arqueas principalmente para la biodegradación de grasas y aceites como se muestra en la figura 3.

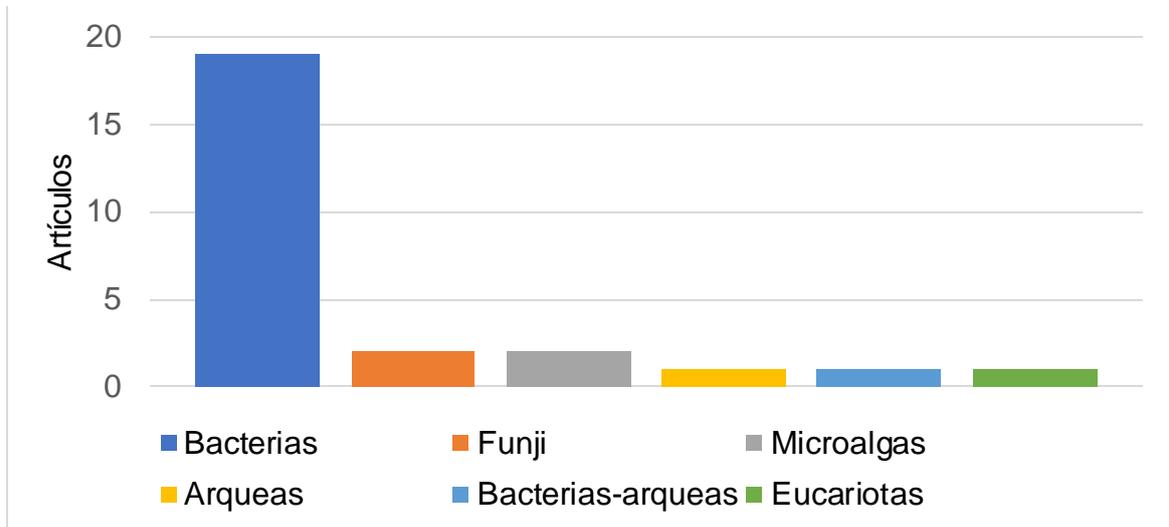


Figura 3. Microorganismos utilizados en los artículos.

De la Figura 3, cerca del 73 % de artículos utilizaron únicamente bacterias como microorganismos degradadores de grasas y aceites. De este modo, el 43.75% de bacterias pertenecían al phylum *Pseudomonadota*, el 37.50% al phylum *Bacillota*, y solo 9.39% al phylum *Actinomycetota* principalmente como se muestra en la figura 4.

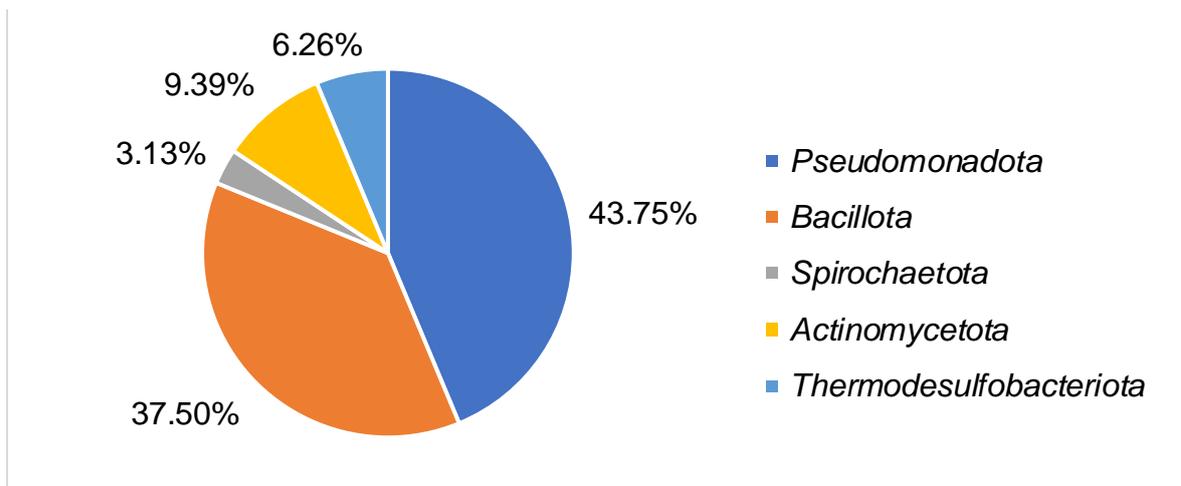


Figura 4. Phylum de las bacterias utilizados en los artículos.

Por otro lado, de los 18 artículos con diseño experimental puro, el 44.0% tuvieron únicamente datos en el campo “porcentaje de remoción de grasas y aceites”, el

22.0% correspondió solo al campo “carbono orgánico total (COt)”, el 28.0% únicamente en el campo “sólidos volátiles suspendidos (SVS)” y sólo un 6.0% se debió a datos en el campo “porcentaje de remoción de grasas, aceites” y “SVS” como se puede ver en la figura 5.

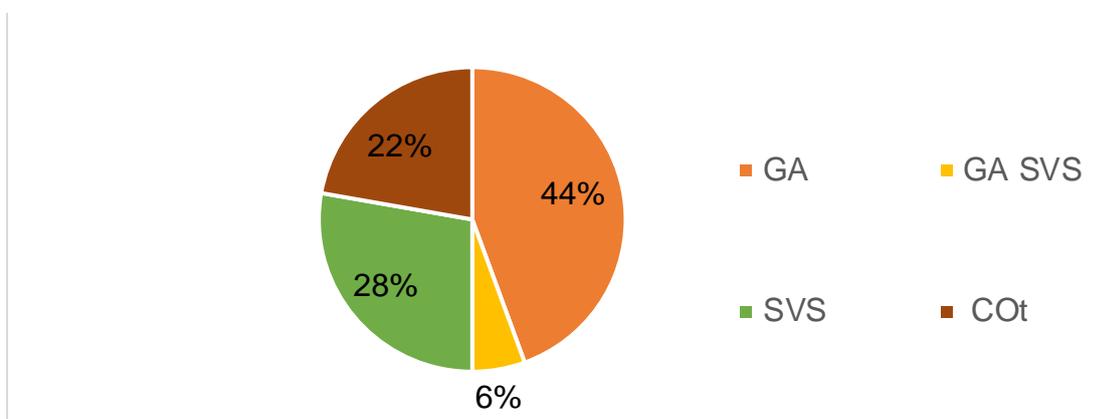


Figura 5. Artículos con porcentajes de remoción para los campos de búsqueda.

De la figura 5, el 44.0% de artículos con diseño experimental puro y con datos de biodegradabilidad de grasas y aceites, se observó que el porcentaje de remoción de grasas y aceites estuvo en el rango de 79.0% a 98.0%, además en el menor y mayor porcentaje de remoción de grasas y aceites estuvieron a cargo las bacterias con phylums *Pseudomonadota* y una asociación de bacterias del phylum *Bacillota* con *Pseudomonadota* respectivamente. De igual manera, el rango de remoción de aceites estuvo en el intervalo de 27.0% a 90.0%, correspondiendo el menor porcentaje de remoción a una asociación de arqueas y el mayor porcentaje de remoción a bacterias del phylum *Bacillota*; sin embargo, el menor porcentaje de remoción de aceites por actividad bacteriana fue de 55.0% correspondiendo a los phylums *Pseudomonadota* y *Actinomycetota* como se observa en la figura 6.

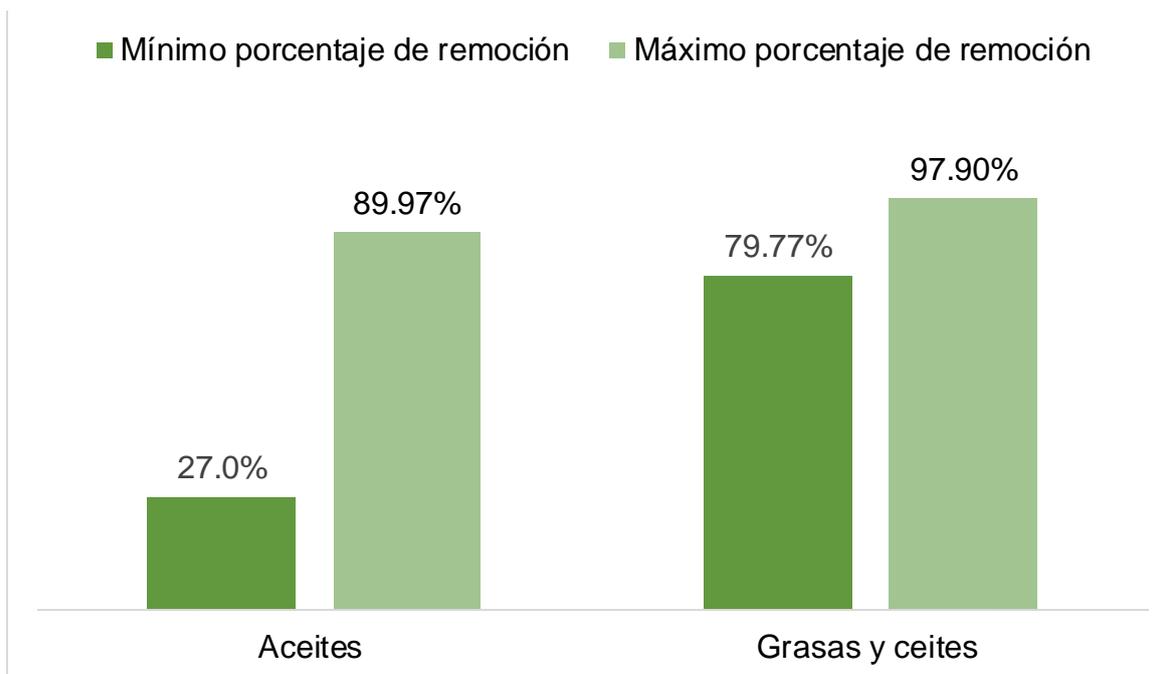


Figura 6. Remoción de grasas y aceites.

De la figura 6 y de la tabla 1, se evidenció que la alta remoción de grasas y aceites o solo aceites fue gracias a la acción de las enzimas de las bacterias del phylum *Bacillota* y *Pseudomonadota* principalmente. Esto sugiere que las bacterias pertenecientes a estos phylums poseen una gran capacidad de producción de la lipasa para catalizar la hidrólisis de las grasas y aceites en comparación con otras bacterias pertenecientes a otros phylums. De acuerdo a Becerra et al. (2022), el género *Bacillus* es uno de los grupos bacterianos más ubicuos y ha ganado notoriedad en los últimos años por su extrema diversidad y heterogeneidad fenotípica. Este género comprende actualmente 268 especies y 7 subespecies. Además, la diversidad metabólica del *Bacillus spp.*, junto con los pocos incidentes informados de patogenicidad ha llevado a que los miembros de este grupo se utilicen en muchos procesos médicos, farmacéuticos, agrícolas e industrias debido a su capacidad para producir una multitud de enzimas y la secreción de antibióticos peptídicos y metabolitos. Así mismo, los resultados de la tabla 1 sugieren que las bacterias poseen mayor capacidad de producir lipasa en comparación de otros microorganismos como los hongos, microalgas, arqueas y protozoos. Sin embargo, las asociaciones de bacterias con otros microorganismos también generan altos

porcentajes de remoción y algunos microorganismos como los hongos del género *Aspergillus* también presentan altos porcentajes de remoción de grasas y aceites. Así mismo; en el estudio realizado por Roets-Dlamini, Moonsamy y Lalloo (2022), se centraron en aumentar los efluentes de desperdicios de alimentos utilizando organismos autóctonos del género *Bacillus* seleccionados de una base de datos patentada. Estos microorganismos fueron examinados por su producción de enzimas constitutivas. Además, el estudio reveló que un consorcio contenía tres aislados microbianos, todos identificados como variantes de *Bacillus cerus*, demostrando un buen potencial de biorremediación cuando se usó para la degradación de grasas, aceites y grasas y la reducción de olores. En otro estudio, Jasme, Noh y Mohd (2022) lograron eliminar el 97.0% del aceite de cocina residual por medio de hongos del género *Aspergillus*. Según Chandra et al. (2020), las lipasas son enzimas muy versátiles que están captando la atención de las industrias. De este modo, el mercado de usos de la lipasa microbiana se estimó en 425 millones de dólares en 2018 y se proyecta alcanzará los 590 millones de dólares para el año 2023.

Por otro lado, de la tabla 1 el 28.0% de artículos con diseño experimental puro presentaron datos únicamente para el porcentaje de remoción de sólidos volátiles suspendidos (SVS) con un mínimo de 41.0% y un máximo de 76.0%, este valor máximo de remoción de SVS se debió a la acción de una arquea y 2 cepas bacterianas del phylum *Spirochaetota*. Así mismo, el 22.0% de artículos con diseño experimental puro presentaron datos únicamente para el porcentaje de remoción de carbono orgánico total (COt) con un mínimo de 86.0 % y un máximo de 90.0%. En el menor y mayor porcentaje de remoción de COt se debió principalmente a la acción de las bacterias del phylum *Actinomycetota* y el uso de microalgas del genus *Scenedesmus* respectivamente.

Por otro lado, en el seguimiento de la biodegradación de grasas y aceites se tuvo que tener en cuenta la demanda química de oxígeno (DQO) como se muestra en la Tabla 2, ya que fue un buen indicador químico para evaluar la eficiencia de la biodegradación.

Tabla 2. *Técnicas de biodegradación y porcentajes de remoción de DQO*

Autor y año	Tipo de agua residual	DQO (mg/l)	Técnica de biodegradación	% Remoción de DQO
Katam y Bhattacharyya (2018)	Doméstica	1100	Bioestimulación	88
Cisterna y Arancibia (2019)	Urbana		Bioestimulación	80
Dereli (2019)	Agroindustrial	350	Bioestimulación	89
Su et al. (2018)	Doméstica	5500	Bioestimulación	94
Marzuki et al. (2021)	Cárnica	14.35	Bioestimulación	97
Cisterna, Gutiérrez y Sastre (2015)	Urbana	1000	Bioestimulación	40
Porwal, Mane y Velhal (2015)	Industria láctea	1268	Bioestimulación	85
Ansari (2022)	Cárnica	1946	Bioestimulación	98

He et al. (2021)	Doméstica	5446	Bioestimulación	63
Lima, Cammarota y Gutarra (2018)	Planta de tratamiento de agua residual	2998	Bioaumentación	82.25
Gonçalves et al. (2019)	Industria de biodisel	3500	Bioaumentación	95
Mohd-Nor et al. (2019)	Industria del aceite	120000	Bioaumentación	84.3
Al-wasify, Ali y Hamed (2017)	Industria láctea	1166	Bioaumentación	78.7
Sekaran (2019)	Industria del aceite	860	Bioaumentación	93.5

Fuente: Elaboración propia. Además, DQO: demanda química de oxígeno.

De la tabla 2 se evidenció que las aguas residuales domésticas, urbanas, de las industrias del aceite, industrias de biocombustibles y las industrias lácteas principalmente estuvieron cargados con altos niveles de DQO debido a la materia orgánica total. Sin embargo, el rango de variación de DQO debido únicamente a la materia suspendida, para las aguas residuales domésticas estuvo entre 1110 mg/l a 5500 mg/l, para las urbanas el intervalo estuvo entre 1000 mg/l y 2900mg/l, para las industrias del aceite entre 900 mg/l a más de 100000 mg/l. Así mismo, las técnicas que mejores resultados dieron para la remoción de DQO fueron la bioestimulación y la bioaumentación como se muestra en la figura 7.

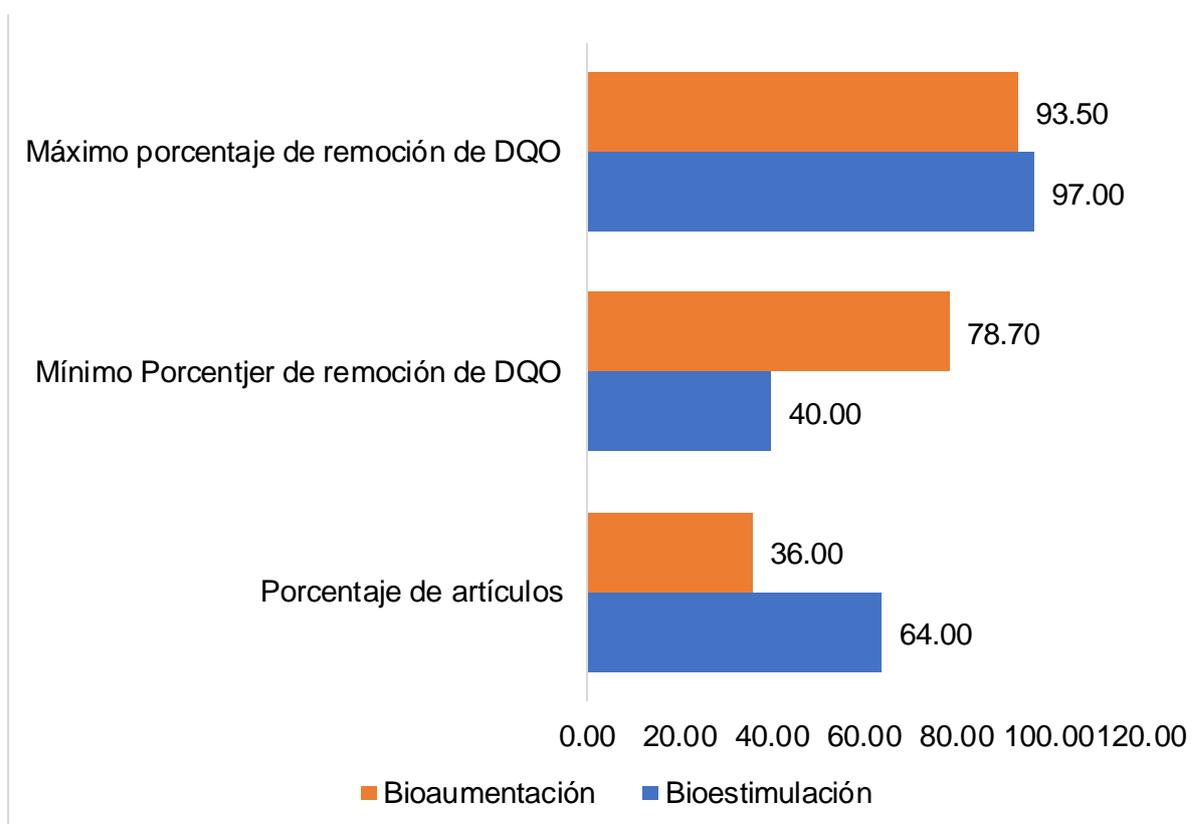


Figura 7. Técnicas de biodegradación y porcentajes de remoción de DQO.

De la figura 7, mediante la bioestimulación se logró remover el 97.0% de DQO. De manera similar, en una investigación Ewida (2020) realizó el seguimiento de la biodegradación de compuestos nitrogenados y orgánicos midiendo el nitrógeno total, demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), oxígeno disuelto (OD) y pH. Encontrando una reducción de DBO y DQO del 97.56% y 96.4% respectivamente. Además, encontraron que *Saccharomyces cerevisiae*,

Bacillus subtilis, *Bacillus amyloliquefaciens* y *Bacillus lichenniformis* fueron las cepas involucradas en el biotratamiento. En otra investigación, Tandukar y Pavlostathis (2022) utilizaron una mezcla de lodos primarios, lodos activados de desechos espesados de una planta de tratamiento de agua residual urbana con grasas y aceites. Monitorearon la biodegradabilidad a través de la conversión de DQO a metano. La codigestión por lotes de la mezcla de lodos con grasas y aceites en proporciones de DQO que oscilaron entre 93.20 a 6.80 y 27.30 a 72.70% dio como resultado una producción de metano linealmente correlacionado tanto con la mezcla total de residuos como con la concentración de la alimentación de grasas, aceites y DQO. En general, concluyeron que la codigestión de lodos municipales mixtos con grasas y aceites es factible. De igual manera, en una investigación Nzila et al. (2016), utilizaron un consorcio bacteriano: *Stenotrophomonas rhizophila*, *Sphingobacterium sp.*, *Pseudomonas libanensis*, *Pseudomonas poae* y *Pseudomonas aeruginosa* para la degradación de aceite de cocina de aguas residuales urbanas. Este consorcio logró degradar 90.0% del aceite de cocina y además logró reducir el 80.0% de DQO de 10550 mg/l.

Por otro lado, las técnicas de biodegradación operaron eficientemente bajo ciertos intervalos de parámetros fisicoquímicos como temperatura, pH y tiempo de retención de sustratos como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. *Técnicas de biodegradación y parámetros fisicoquímicos*

Autor y año	DE	Microorganismos	Técnica de biodegradación	T(°C)	pH	TRS (días)
Li y Shimizu (2021)	E. P	Bacterias	Bioestimulación	52	7.5-8.5	21
Choudhury y Lansing (2019)	E. P	Bacterias	Bioestimulación	35		67
Dereli (2019)	E. P	Bacterias	Bioestimulación	35	7.1	7
Ziels et al. (2015)	E. P	Bacterias	Bioestimulación	37	7.3	35
Wang, Liu y Hao (2019)	E. P	Bacterias	Bioestimulación	37	8.0-9.0	2
Yan et al. (2018)	E. P	Bacterias	Bioestimulación	30	3.0-5.0	10
Cisterna-osorio, Gutiérrez y Sastre-andres (2015)	E. P	Bacterias	Bioestimulación	30	8	3
Kachieng y Momba (2017)	E. P	Eucariota	Bioestimulación	30		30
Ibrahim et al. (2020)	E. P	Bacterias	Bioestimulación	12.5	7.5	3

Sarantou et al. (2021)	E. P	Funji	Bioestimulación		6.6-5.0	8.33
Pascale et al. (2019)	E. P	Bacteria	Bioestimulación	30	6.0-8.0	12
Dong et al. (2022)	E. P	Bacteria	Bioestimulación	37	8	28
Alabdall et al. (2021)	E. P	Funji	Bioestimulación	50		5
He et al. (2021)	E. P	Bacterias-arqueas	Bioestimulación	37	7.2-7.6	30
Elamati et al. (2021)	E. P	Microalgas	Bioestimulación			25
Wang et al. (2022)	E. P	Bacteria	Bioaumentación	10.0-45.0	2.0-12.0	30
Phommachanh, Chiemchaisri y Chiemchaisri (2021)	E. P	Bacteria	Bioaumentación	25-30	7	56
Sekaran (2019)	E. P	Bacterias	Bioaumentación	50	7	3
Al-wasify, Ali y Hamed (2017)	E. P	Bacteria	Bioaumentación	32	6.5-7.1	2
Lima, Cammarota y Gutarra (2018)	E. P	Funji	Bioaumentación	30		1
Katam y Bhattacharyya (2018)	C. E	Microalgas	Bioestimulación		5.5	8
Su et al. (2018)	C. E	Archaea	Bioestimulación	25		0.67

Tuan et al. (2021)	C. E	Bacterias	Bioestimulación	6.6-7.3	100
Sunada et al. (2018)	C. E	Bacterias	Bioestimulación		7
Porwal, Mane y Velhal (2015)	C. E	Bacterias	Bioestimulación	5.7-7.2	2
Ansari (2022)	C. E	Bacterias	Bioestimulación	7.0-7.8	56
Mohd-Nor et al. (2019)	C. E	Bacterias	Bioaumentación	4.5-8.5	74
Gonçalves et al. (2019)	C. E	Bacterias	Bioaumentación	6.0-8.0	28
Ke et al. (2021)	C. E	Bacterias	Bioaumentación	55	5
Cisterna y Arancibia (2019)	P. P	Bacterias	Bioestimulación		25

Fuente: Elaboración propia. Además, DE: diseño experimental, E.P: experimental puro, P.P: preexperimental, TRS: tiempo de retención de sustratos.

De la tabla 3, el 66.67% de 30 artículos pertenecieron a estudios con diseño experimental puro. De este conjunto, el 75% utilizaron la bioestimulación y el 25% la bioaumentación como técnicas para la degradación de grasas y aceites. Así mismo, en la bioestimulación del total de microorganismo utilizados el 67% correspondió a la aplicación exclusiva de bacterias. De igual manera, 4 de 5 artículos utilizaron únicamente bacterias para los procesos de biodegradación en las técnicas de bioaumentación. De este modo, para estudios con diseño experimental puro, en la bioestimulación los rangos de temperatura de incubación de los biodigestores (durante la hidrólisis de las grasas y aceites) variaron desde un mínimo 12.5 °C hasta un máximo de 52 °C. Así mismo, la temperatura más frecuente a las que se llevaron a cabo la biodegradación mediante la bioestimulación fue de 30°C. Esto dio a entender que las bacterias pertenecientes a los phylum *Bacillota* y *Pseudomonadota* catalizan la hidrólisis de las grasas y aceites de manera óptima a temperaturas cercanas a 30°C. Según Ohkubo et al. (2022), el grupo de *Bacillus cereus* comprende 18 especies genéticamente estudiadas. Además, la temperatura mínima de crecimiento difiere entre cepas y generalmente no es inferior a 5 o 6 °C, aunque se ha demostrado que algunas cepas crecen a 4 °C. El aumento de la temperatura de 6 a 9 °C afecta notablemente la tasa de crecimiento entre los aislamientos psicrotrofos. Algunas cepas tienen temperaturas mínimas de hasta 10-15°C. Sin embargo, la temperatura óptima de crecimiento es de 30 a 37 °C y la máxima de 37 a 50 °C.

De la tabla 3, los rangos de pH de los sustratos en el tiempo que se llevó a cabo la hidrólisis de las grasas y aceites, para estudios con diseño experimental puro, variaron desde un mínimo de 2.0 hasta un máximo de 12.0. Además, dentro de esta clase de artículos el valor mínimo y máximo de pH para la bioestimulación en la que se usó exclusivamente bacterias fue 3.0 y 9.0 respectivamente. Así mismo, el promedio de pH en que se llevó a cabo la degradación mediante esta técnica fue de 7.2. Así mismo, para la bioaumentación de esta clase de artículos en las que se usaron únicamente bacterias los rangos de pH variaron de 2.0 hasta 12.0 y el promedio fue 6.8. En un estudio, Nzila et al. (2016) indicó que el primer paso de la biodegradación de grasas y aceites es la generación de ácidos grasos libres (AGL) como resultado de la hidrólisis por actividad de la lipasa, y debido a que este proceso es muy rápido que la biodegradación de AGL, condujo a una disminución

en el pH del medio. El medio de cultivo que utilizaron tenía un sistema tampón de fosfato a pH 7.0. Sin embargo, las culturas del consorcio bacteriano y la cepa individual mostraron una constante disminución del pH (hasta valores entre 6.5 y 6.0), en días correspondientes al máximo crecimiento. De esta forma, a pesar del efecto amortiguador, el pH fue ligeramente decreciente en el medio, en relación con la generación de AGL.

Además, de la tabla 3 se observó el tiempo de retención de los sustratos en donde las enzimas de los microorganismos catalizan la hidrólisis de las grasas y aceites, para los artículos con diseño experimental puro los rangos variaron desde 1 día hasta un máximo de 67 días. En este conjunto, para la bioestimulación por acción de las enzimas microbianas el tiempo mínimo fue 2 días y el máximo 67 días y en promedio a la bioestimulación le tomó 19 días para que las enzimas realicen de manera óptima la biodegradación de compuestos orgánicos. De manera similar, los rangos de retención de los sustratos para la bioaumentación variaron desde un 1 día hasta un máximo de 50 días. En una investigación, Nzila et al. (2016), utilizaron un consorcio bacteriano: *Stenotrophomonas rhizophila*, *Sphingobacterium sp.*, *Pseudomonas libanensis*, *Pseudomonas poae* y *Pseudomonas aeruginosa* para la degradación de aceite de cocina de aguas residuales urbanas. Este consorcio logró degradar más del 90% del aceite de cocina en solo 7 a 9 días. Así mismo, en un estudio Tzirita, Papanikolaou y Quilty (2019), las bacterias necesitaron 13 días de incubación para degradar eficientemente residuos de mantequilla. En otra investigación Roets-Dlamini, Moonsamy y Lalloo (2022), utilizaron bacterias del Phylum *Bacillota*, donde el 76.80% de grasas y aceites fueron reducidos en solo 5 días, de una concentración inicial de 10 mg/L a una concentración final de 2.3 mg/l.

Así mismo, en su investigación Zhao et al. (2022) realizó una mezcla de enzimas lipolíticas procedentes de las bacterias del género *Bacillus* y *Escherichia coli*. La enzima recombinante logró una alta actividad (161.74 U/ml) con una concentración de proteínas de 0.27 mg/ml en condiciones óptimas en la expresión a gran escala de 12 horas. Así mismo, la lipasa recombinante mostró actividad óptima a 40 °C y pH 10.0, y mantuvo más del 80% de actividad relativa después de 96 h de incubación a pH 9.0-10.0. Esta lipasa alcalina típica se activó en condiciones de temperatura media (30 y 45°C durante 96 h).

V. CONCLUSIONES

1. En la presente revisión se concluyó que, a escala de laboratorio, la bioestimulación tiene mejores resultados sobre la bioaumentación en la biodegradación de compuestos orgánicos y se reportó que esta técnica alcanzó 89.97% como máximo porcentaje de remoción de aceites debido a las lipasas producidos por bacterias principalmente las especies del género *Bacillus*. Además, el porcentaje de remoción máxima de grasas y aceites de las aguas residuales fue 97.90% debido a un consorcio bacteriano principalmente las especies de los géneros *Bacillus* y *Pseudomonas*. Así mismo, se evidenció que la bioestimulación presentaron mejores porcentajes de remoción de SVS y COt sobre las técnicas de bioaumentación, alcanzando 76.0% y 90.0% respectivamente.
2. La bioestimulación y la bioaumentación son las mejores técnicas para degradar DQO debido a la materia orgánica, ya que los lípidos como las grasas y aceites a pesar de estar presentes en las aguas residuales en menor proporción son difíciles de eliminar a comparación de los carbohidratos y proteínas. Sin embargo, mediante la bioestimulación se alcanzó 97.0 % como máximo porcentaje de remoción de DQO suspendido.
3. El tiempo mínimo y máximo de retención de sustratos en los biodigestores mediante la bioestimulación, para estudios con diseño experimental puro, fueron de 2 a 67 días respectivamente. Además, a la bioestimulación utilizando lipasas le tomó solo 19 días en promedio para la degradación eficiente de grasas y aceites con temperaturas de incubación alrededor de 30 °C y pH cercanas a 7.2.

VI. RECOMENDACIONES

- Para futuras investigaciones, se recomienda realizar experimentos para estudiar las enzimas lipolíticas de las bacterias del género *Bacillus*, en la degradación de aceites residuales.
- Además, se debería realizar una revisión sistemática con metaanálisis de las técnicas de biodegradación de grasas y aceites.
- Finalmente, sería muy productivo investigar sobre la eficiencia de biodegradación de compuestos orgánicos residuales por medio de un consorcio entre bacterias los géneros *Bacillus* y hongos del género *Aspergillus*.

REFERENCIAS

- ABDILLAH, Mohammed [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* [en línea]. Vol. 369, no. February, pp. 195-204, 2019. [Fecha de consulta: 1 de mayo de 2022]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894719304978>
ISSN 1385-8947
- ABDULSALAM, Mohammed [et al]. Journal of Water Process Engineering Augmented yeast-extract and diary-waste for enhancing bio-decolourization of palm oil mill effluent using activated sludge. *Journal of Water Process Engineering* [en línea]. Vol. 36, no. December 2019, pp. 101263, 2020. [Fecha de consulta: 11 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101263>
ISSN 2214-7144
- AL-WASIFY, Raed, ALI, Mohamed y HAMED, Shimaa. Biodegradation of dairy wastewater using bacterial and fungal local isolates [en línea]. Pp. 3094-3100, 2017. [Fecha de consulta: 1 de junio de 2022]. Disponible en <http://iwaponline.com/wst/article-pdf/76/11/3094/210826/wst076113094.pdf>
- ALABDALALL, Amira [et al]. Application and characterization of crude fungal lipases used to degrade fat and oil wastes. *Scientific Reports* [en línea]. Pp. 1-10, 2021. [Fecha de consulta: 17 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98927-4>
ISSN 2045-2322
- ANSARI, Asif. Assessment of laboratory scale cylindrical sequencing batch reactor for the treatment of abattoir effluent. *Innovative Infrastructure Solutions* [en línea], Vol. 7, no. 1, pp. 1-11, 2022. [Fecha de consulta: 2 de junio de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s41062-021-00702-x>
ISSN 2364-4184
- BECERRA, L [et al]. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology Biotransformation of 5-hydroxymethylfurfural and furfural with bacteria of bacillus genus [en línea]. Vol. 39, no. July 2021, 2022. [Fecha de consulta: 1 de mayo de 2022].

- Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102281>
- BOONNORAT, Jarungwit [et al]. Enhanced micropollutant biodegradation and assessment of nitrous oxide concentration reduction in wastewater treated by acclimatized sludge bioaugmentation. *Science of the Total Environment* [en línea]. Vol. 637-638, pp. 771-779, 2018. [Fecha de consulta: 1 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.066>
ISSN 0048-9697
- CABEZAS, Claudia [et al]. Aceites y grasas: efectos en la salud y regulación mundial [en línea]. Vol. 64, no. 4, pp. 761-768, 2016. [Fecha de consulta: 1 de mayo de 2022]. Disponible en <http://dx.doi.org/10.15446/revfacmed.v64n4.53684>
- CHANDRA, Prem [et al]. Microbial lipases and their industrial application: a comprehensive review [en línea]. 2020. [Fecha de consulta: 1 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1186/s12934-020-01428-8>
ISBN 1293402001
- CHENG, Dongle [et al]. Sustainable enzymatic technologies in waste animal fat and protein management. *Journal of Environmental Management* [en línea], Vol. 284, no. January, pp. 112040, 2021. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112040>
ISSN 0301-4797
- CHOUDHURY Abhinav, LANSING, Stephanie. Methane and Hydrogen Sulfide Production from Co-Digestion of Gummy Waste with a Food Waste, Grease Waste, and Dairy Manure Mixture. *Energies* [en línea]. No. 2013, 2019. [Fecha de consulta: 1 de mayo de 2022]. Disponible en <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/23/4464>
- CISTERNA, Pedro, GUTIÉRREZ, Antonio y SASTRE, Herminio. Impact of previous acclimatization of biomass and alternative substrates in sunflower oil biodegradation Incidencia de la aclimatación previa de la biomasa y sustrato alternativo en la biodegradación de aceite girasol [en línea]. Vol. 82, no. 193, pp. 56-61, 2015. [Fecha de consulta: 11 de mayo de 2022]. Disponible en <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v82n193.45667>
- CISTERNA, Pedro y ARANCIBIA, Patricia. Comparison of Biodegradation of Fats and Oils by Activated Sludge on Experimental and Real Scales [en línea]. Pp.

- 1-13, 2019. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/w11061286>
- COLLIN, Thomas [et al]. Characterisation and energy assessment of fats, oils and greases (FOG) waste at catchment level. *Waste Management* [en línea]. Vol. 103, pp. 399-406, 2020. [Fecha de consulta: 7 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.12.040>
ISSN 0956-053X
- DERELI, Recep. Modeling long-term performance of full-scale anaerobic expanded granular sludge bed reactor treating confectionery industry wastewater [en línea]. Pp. 25037-25045, 2019. [Fecha de consulta: 7 de mayo de 2022]. Disponible en <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v82n193.45667>
- DONG, Haiquan [et al]. Bioresource Technology Microbial electrochemical degradation of lipids for promoting methane production in anaerobic digestion. *Bioresource Technology* [en línea]. Vol. 345, no. October 2021, pp. 126467, 2022. [Fecha de consulta: 8 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126467>
ISSN 0960-8524
- EWIDA, Ayman. Bio-treatment of maize processing wastewater using indigenous microorganisms [en línea]. Vol. 1, pp. 1-7, 2020. [Fecha de consulta: 18 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1186/s42834-020-0044-1>
- ELAMATI, Vimali [et al]. Biodegradation of Used Motor Oil and Biofuel Production by Microalgae [en línea]. N°. 5, pp. 852-857, 2021. [Fecha de consulta: 17 de mayo de 2022]. Disponible en <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ceat.202000494>
- GONÇALVES, Luciano [et al]. Enhanced biodiesel industry wastewater treatment via a hybrid MBBR combined with advanced oxidation processes: analysis of active microbiota and toxicity removal [en línea]. Pp. 4521-4536, 2019. [Fecha de consulta: 18 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2710-y>
- HAN, Ngoc, REINHARD, Martin y GIN, Karina. Occurrence and fate of emerging contaminants in municipal wastewater treatment plants from different geographical regions-a review. *Water Research* [en línea]. Vol. 133, pp. 182-207, 2018. [Fecha de consulta: 18 de mayo de 2022]. Disponible en

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.029>

ISSN 0043-1354

HE, Xia [et al]. Bioresource Technology Carbon-based conductive materials accelerated methane production in anaerobic digestion of waste fat, oil and grease. *Bioresource Technology* [en línea]. Vol. 329, no. February, pp. 124871, 2021. [Fecha de consulta: 18 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124871>

ISSN 0960-8524

IBRAHIM, Salihu [et al]. Optimisation of biodegradation conditions for waste canola oil by cold-adapted *Rhodococcus* sp. AQ5-07 from Antarctica [en línea]. Vol. 48, pp. 1-12, 2020. [Fecha de consulta: 18 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2020.07.005>

JASME, Nurshafiqah, NOH, Nur y MOHD, Ahmad. Lab-scale bioremediation technology: Ex-situ bio-removal and biodegradation of waste cooking oil by *Aspergillus flavus* USM-AR1. *Bioremediation Journal* [en línea]. 31 marzo. 2022. [Fecha de consulta: 6 de junio de 2022]. Disponible en <https://www.tandfonline.com/doi/ref/10.1080/10889868.2022.2054929?scroll=t>
[op](#)

JAZM, Omayra y NI, Campoverde. Tratamiento de aguas residuales de una empresa industrial de congelado. Tesis (Ingeniero industrial). Piura: Universidad de Piura, 2019. Disponible en <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/4397?locale-attribute=en>

KACHIENG, L y MOMBA. Kinetics of petroleum oil biodegradation by a consortium of three protozoan isolates (*Aspidisca* sp., *Trachelophyllum* sp. and *Peranema* sp.). *Biotechnology Reports* [en línea]. Vol. 15, no. July, pp. 125-131, 2017. [Fecha de consulta: 11 de abril de 2022]. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016/j.btre.2017.07.001>

ISSN 2215-017X

KATAM, Keerthi y BHATTACHARYYA, Debraj. Comparative study on treatment of kitchen wastewater using a mixed microalgal culture and an aerobic bacterial culture: kinetic evaluation and FAME analysis [en línea]. Pp. 20732-20742, 2018. [Fecha de consulta: 11 de abril de 2022]. Disponible en

<https://doi.org/10.1007/s11356-018-2209-6>

KE, Xia [et al]. Bioresource Technology Fed-in-situ biological reduction treatment of food waste via high-temperature-resistant oil degrading microbial consortium. *Bioresource Technology* [en línea]. Vol. 340, no. July, pp. 125635, 2021. [Fecha de consulta: 1 de junio de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125635>

ISSN 0960-8524

KUMAR, Anil [et al]. Science of the Total Environment Organic wastes bioremediation and its changing prospects. *Science of the Total Environment* [en línea]. Vol. 824, pp. 153889, 2022. [Fecha de consulta: 1 de junio de 2022]. DOI 10.1016/j.scitotenv.2022.153889. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153889>

ISSN 0048-9697

KUMAR, Prasun [et al]. Dark fermentative bioconversion of glycerol to hydrogen by *Bacillus thuringiensis*. *Bioresource Technology* [en línea], 2015. [Fecha de consulta: 1 de junio de 2022]. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2015.01.138>

ISSN 0960-8524

LECCA, Raffo y LIZAMA, Ruiz. Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno [en línea]. 2014. [Fecha de consulta: 18 de mayo de 2022]. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81640855010>

LI, Xiaojue y SHIMIZU, Naoto. Effects of Lipase Addition, Hydrothermal Processing, Their Combination, and Co-Digestion with Crude Glycerol on Food Waste Anaerobic Digestion [en línea]. 2021. [Fecha de consulta: 18 de mayo de 2022]. Disponible en <https://www.mdpi.com/2311-5637/7/4/284>

LIANG, Jiang [et al]. Fabrication and characterization of fatty acid/wood-flour composites as novel form-stable phase change materials for thermal energy storage. *Energy & Buildings* [en línea]. 2018. [Fecha de consulta: 18 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.04.044>

ISSN 0378-7788

LIMA, Anna, CAMMAROTA, Magali y GUTARRA, Melissa. Obtaining filamentous fungi and lipases from sewage treatment plant residue for fat degradation in

- anaerobic reactors [en línea]. Pp. 1-19, 2018. [Fecha de consulta: 18 de mayo de 2022]. Disponible en <https://peerj.com/articles/5368/>
- LYCOURGHOTIS, Sotiris [et al]. Transformation of residual fatty raw materials into third generation green diesel over a nickel catalyst supported on mineral palygorskite. *Renewable Energy* [en línea]. Vol. 180, pp. 773-786, 2021. [Fecha de consulta: 18 de mayo de 2022]. DOI 10.1016/j.renene.2021.08.059. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.08.059>
ISSN 0960-1481
- MARCHETTI, Rosa. Conversion of waste cooking oil into biogas: perspectives and limits [en línea]. Pp. 2833-2856, 2020. [Fecha de consulta: 11 de abril de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10431-3>
- MARZUKI, Tuan [et al]. Enhancement of Bioreactor Performance Using Acclimatized Seed. *Animals* [en línea]. 2021. [Fecha de consulta: 11 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.3390/ani11113313>
- MOHD-NOR, Diana [et al]. Dynamics of Microbial Populations Responsible for Biodegradation during the Full-Scale Treatment of Palm Oil Mill Effluent. *Bioenvironmental* [en línea]. Vol. 34, no. 2, pp. 121-128, 2019. [Fecha de consulta: 1 de mayo de 2022]. Disponible en <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30905894/>
- MORRISSEY, Anne, 2018. *Treatment and Recycling of Domestic and Industrial Wastewater* [en línea]. S.l.: Elsevier Ltd. ISBN 9780128035818. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.11082-3>
- MUHAMMAD, Nisar [et al]. Assessment of industrial wastewater for potentially toxic elements, human health (dermal) risks, and pollution sources: A case study of Gadoon Amazai industrial estate, Swabi, Pakistan [en línea]. Vol. 419, no. June, 2021. [Fecha de consulta: 18 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126450>
- NHI-CONG, Le Thi [et al]. Enhanced Degradation of Diesel Oil by Using Biofilms Formed by Indigenous Purple Photosynthetic Bacteria from Oil-Contaminated Coasts of Vietnam on Different Carriers [en línea]. 2019. [Fecha de consulta: 18 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s12010-019-03203-x>

- NIMKANDE, Vijay y BAFANA, Amit. A review on the utility of microbial lipases in wastewater treatment. *Journal of Water Process Engineering* [en línea]. Vol. 46, no. 3, pp. 102591, 2022. [Fecha de consulta: 18 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.102591>
ISSN 2214-7144
- NZILA, Alexis [et al]. Characterization of aerobic oil and grease- degrading bacteria in wastewater [en línea]. Vol. 3330, no. July, 2016. [Fecha de consulta: 1 de junio de 2022]. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1080/09593330.2016.1207712>
- OHKUBO, Yoshiaki [et al]. 2022. *Bacillus cereus q* [en línea]. Third Edition. S.I.: Elsevier. ISBN 9780123744074. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22975-2>
- PASCALE, N [et al]. Enzymatic hydrolysis of floatable fatty wastes from dairy and meat food-processing industries and further anaerobic digestion [en línea]. Pp. 985-992, 2019. [Fecha de consulta: 1 de junio de 2022]. Disponible en <http://iwaponline.com/wst/article-pdf/79/5/985/618288/wst079050985.pdf>
- PHOMMACHANH, Vongsadet, CHIEMCHAI SRI, Wilai y CHIEMCHAI SRI, Chart. Co - digestion of greasy waste and MBR sludge using bio - augmented *Pseudomonas putida*: Effect of buffering [en línea]. Vol. 11, no. 4, pp. 1-15, 2021. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2022]. Disponible en <https://journals.utm.my/aej/article/download/17860/7755/56992>
- PORWAL, H., MANE, A y VELHAL, S. Biodegradation of dairy effluent by using microbial isolates obtained from activated sludge. *Water Resources and Industry* [en línea]. Vol. 9, pp. 1-15, 2015. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2022]. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016/j.wri.2014.11.002>
ISSN 2212-3717
- RANI, S y KUMAR, R. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering Insights on applications of low-cost ceramic membranes in wastewater treatment: A mini-review. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* [en línea]. Vol. 4, pp. [Fecha de consulta: 11 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2021.100149>
ISSN 2666-0164
- RIES, Sarah [et al]. Microwave enhanced advanced oxidation treatment of fat, oil

and grease (FOG) with organic. *Environmental Technology* [en línea]. Vol. 0, no. 0, pp. 1-11, 2020. [Fecha de consulta: 11 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1080/09593330.2020.1767700>

ISSN 0959-3330

ROETS-DLAMINI, Yrielle, MOONSAMY, Ghaneshree y LALLOO, Rajesh. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology Use of *Bacillus* spp in the bioremediation of fats, oils and greases (FOG' s), and other waste substrates in food processing effluents. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* [en línea]. vol. 42, no. February, pp. 102351, 2022. [Fecha de consulta: 11 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102351>

ISSN 1878-8181

SAMARASIRI, B. [et al]. Bioresource Technology Reports Mechanisms involved in anaerobic digestion of desiccated coconut wastewater and related strategies to overcome lipid inhibition. A review. *Bioresource Technology Reports* [en línea]. Vol. 17, no. January, pp. 100987, 2022. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.100987>

ISSN 2589-014X

SANGHAMITRA, P, MAZUMDER, Debabrata y MUKHERJEE, Somnath. Toxic / Hazardous Substances and Environmental Engineering Treatment of wastewater containing oil and grease by biological method- a review. *Journal of Environmental Science and Health, Part A* [en línea]. vol. 56, no. 4, pp. 394-412, 2021. [Fecha de consulta: 13 de mayo de 2022]. Disponible en <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10934529.2021.1884468>

SARANTOU, Sofia [et al]. Biotechnological valorization of biodiesel-derived glycerol: Trials with the non-conventional yeasts *Yarrowia lipolytica* and *Rhodospiridium* sp. *Carbon Resources Conversion* [en línea]. Vol. 4, no. December 2020, pp. 61-75, 2021. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2020.12.006>

ISSN 2588-9133

SAYED, Khalid [et al]. Potential biodegradation of Tapis Light Crude Petroleum Oil, using palm oil mill effluent final discharge as biostimulant for isolated halotolerant *Bacillus* strains. *Marine Pollution Bulletin* [en línea]. Vol. 172, no. August, pp. 112863, 2021. [Fecha de consulta: 1 de mayo de 2022]. Disponible

en: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112863>

ISSN 0025-326X

SEKARAN, P., SARANYA, P. y SELVI, G. Integrated thermophilic enzyme-immobilized reactor and high-rate biological reactors for treatment of palm oil-containing wastewater without sludge production. *Bioprocess and Biosystems Engineering* [en línea]. Vol. 42, no. 6, pp. 1053-1064, 2019. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2022]. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1007/s00449-019-02104-x>

ISSN 1615-7605

SHARMA, Swati [et al]. Production of novel rhamnolipids via biodegradation of waste cooking oil using *Pseudomonas aeruginosa*. *Biodegradation* [en línea]. Vol. 0123456789, 2019. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s10532-019-09874-x>

ISSN 1572-9729

SRIVASTAVA, Shubhangi y MISHRA, Hari. Development of microencapsulated vegetable oil powder-based cookies and study of its physicochemical properties and storage stability. *LWT* [en línea]. Vol. 152, no. August, pp. 112364, 2021. [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112364>

ISSN 0023-6438

SU, Chengyuan [et al]. Performance and microbial community of CIC anaerobic reactor treating food waste under different grease contents and inner circulation ratio [en línea]. Pp. 21623-21634, 2018. [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2279-5>

SUDMALIS, D. [et al]. Biological treatment of produced water coupled with recovery of neutral lipids. *Water Research* [en línea]. Vol. 147, pp. 33-42, 2018. [Fecha de consulta: 1 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.09.050>

ISSN 0043-1354

SUNADA, Silva [et al]. Anaerobic co-digestion of animal manure at different waste cooking oil concentrations [en línea]. Pp. 1-8, 2018. [Fecha de consulta: 1 de mayo de 2022]. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20170517>

TANDUKAR, Madan, PAVLOSTATHIS, Spyros. Anaerobic co-digestion of

- municipal sludge with fat-oil-grease (FOG) enhances the destruction of sludge solids. *Chemosphere* [en línea]. Apr; 292:133530. 2022. [Fecha de consulta: 1 de mayo de 2022]. Disponible en <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34995631/>
- TZIRITA, Markella, PAPANIKOLAOU, Seraphim y QUILTY, Bríd. Enhanced fat degradation following the addition of a *Pseudomonas* species to a bioaugmentation product used in grease traps. *Journal of Environmental Sciences* [en línea]. Vol. 77, no. 2012, pp. 174-188, 2018. [Fecha de consulta: 1 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.jes.2018.07.008>
ISSN 1001-0742
- VENUGOPAL, Vazhiyil y SASIDHARAN, Abhilash. Seafood industry effluents: environmental hazards, treatment and resource recovery. *Biochemical Pharmacology* [en línea]. Pp. 104758, 2020. [Fecha de consulta: 1 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104758>
ISSN 2213-3437
- WANG, Can [et al]. Science of the Total Environment Lipid degrading microbe consortium driving micro-ecological evolvement of activated sludge for cooking wastewater treatment. *Science of the Total Environment* [en línea]. Vol. 804, pp. 150071, 2022. [Fecha de consulta: 1 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150071>
ISSN 0048-9697
- WANG, Haiyan, LIU, Wei y HAO, Ruixia. Lipase from *Bacillus cereus*: A potential solution to alleviate dietary oil pollution [en línea]. Vol. 237, pp. 1-11, 2019. [Fecha de consulta: 2 de mayo de 2022]. Disponible en <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/237/5/052067>
- XU, Zihan [et al]. Evaluation of trans fatty acids, carbonyl compounds and bioactive minor components in commercial linseed oils. *Food Chemistry* [en línea]. Vol. 369, no. 235, pp. 130930, 2022. [Fecha de consulta: 2 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130930>
ISSN 0308-8146
- YAN, Han [et al]. Isolation of Oil-degrading Bacteria and Treatment of Oil Wastewater [en línea]. Vol. 199, pp. 1-8, 2018. [Fecha de consulta: 2 de mayo de 2022]. Disponible en <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/199/2/022028/meta>

- ZHAO, Junxin [et al]. Expression and characterization of a novel lipase from *Bacillus licheniformis* NCU CS-5 for application in enhancing fatty acids flavor release for low-fat cheeses. *Food Chemistry* [en línea]. Vol. 368, no. May 2021, pp. 130868, 2022. [Fecha de consulta: 2 de junio de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130868>
ISSN 0308-8146.
- ZIELS, Ryan [et al]. Monitoring the dynamics of syntrophic β -oxidizing bacteria during anaerobic degradation of oleic acid by quantitative PCR [en línea]. March, pp. 1-14, 2015. [Fecha de consulta: 2 de junio de 2022]. Disponible en <https://academic.oup.com/femsec/article/91/4/fiv028/599135>
- ZUIN, Vânia [et al]. Green and sustainable chemistry in Latin America: ¿Which type of research is going on? And for what? *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry* [en línea]. Vol. 25, pp. 100379, 2020. [Fecha de consulta: 30 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.100379>
ISSN 24522236

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de categorización

Ámbito Temático	Problema de Investigación	Objetivo General	Objetivos Específicos	Categorías	Subcategorías	Criterios
Técnicas de biodegradación de grasas y aceites de aguas residuales	¿Cuáles serán las técnicas de biodegradación más eficientes de grasas y aceites de aguas residuales?	Evaluar las principales técnicas de biodegradación de grasas y aceites de aguas residuales industriales, a nivel mundial, desde el año 2015 a 2022 en base a una revisión sistemática de artículos de revistas indexadas.	Evaluar la eficiencia de remoción de grasas y aceites en aguas residuales según el tipo de agente biodegradante.	Remoción de grasas y aceites	Remoción de carbono orgánico, grasas y aceites, sólidos volátiles, sólidos suspendido totales	Tipo de agente biodegradante: bacterias, microalgas, hongos, virus.
			Evaluar la eficiencia de remoción de DQO en aguas residuales según el tipo de técnica de biodegradación.	DQO	Demanda química debido a la materia orgánica suspendida	Técnica de biodegradación: bioaugmentación, bioestimulación

			<p>Evaluar las condiciones de pH, temperatura y tiempo que permiten la degradación eficiente de grasas y aceites según las técnicas de biodegradación.</p>	<p>Parámetros fisicoquímicos</p>	<p>pH, temperatura, tiempo</p>	<p>Bioestimulación, bioaumentación</p>
--	--	--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------	--------------------------------	----------------------------------------

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2. Ficha de recolección de datos

Autor y año	D.E	Inoculantes		Sustrato pre digestión en mg/l					Técnica de biodegradación	T(°C)	pH	TRS (días)	Efluente post digestión-% de remoción			
		Agente	Especie	Sustratos	Tipo de agua residual	GA	SVS	Cot					DQO	COt	GA	SVS

Fuente: Elaboración propia.