



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

**Producción de Biodiesel mediante Aceites Mixtos y Uso
de Catalizadores: Revisión Sistemática**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTORES:

Puma Mamani, Joseph Goyo (orcid.org/0000-0002-6939-9414)
Vargas Zegarra, Laura Milena (orcid.org/0000-0001-5931-1047)

ASESOR:

Mg. Ugarte Alván, Carlos Alfredo (orcid.org/0000-0001-6017-1192)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo Sostenible y Adaptación al Cambio Climático

LIMA – PERÚ

2022

Dedicatoria

A nuestros padres con mucho amor y les dedicamos todo nuestro esfuerzo y trabajo puesto para la realización de esta tesis.

Agradecimiento

Gracias a dios, por habernos dado la vida, acompañado a lo largo de nuestra carrera, por ser nuestra luz en nuestro camino y por darnos la sabiduría, fortaleza para alcanzar nuestros objetivos.

Índice de contenidos

Carátula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimientos.....	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de gráficos y figuras.....	vi
Resumen.....	vii
Abstract	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	16
3.1. Tipo y diseño de investigación	16
3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización	16
3.3. Escenario de estudio.....	18
3.4. Participantes.....	18
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	18
3.6. Procedimiento	18
3.7. Rigor científico.....	20
3.8. Método de análisis de información	20
3.9. Aspectos éticos	21
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
V. CONCLUSIONES	38
VI. RECOMENDACIONES.....	39
REFERENCIAS.....	40
ANEXO.....	55

Índice de tablas

Tabla 1.	Capacidad de producción de biodiésel por país, 2015	14
Tabla 2.	Matriz de Categorización Apriorística	17
Tabla 3.	Materias primas de aceites mixtos con mayor uso	23
Tabla 4.	Catalizadores usados mediante aceites mixtos	29
Tabla 5.	Rendimiento de los catalizadores usados	33

Índice de gráficos y figuras

Gráfico 1.	Quema de residuos agrícola y de carbón (combustible fósil)	10
Gráfico 2.	Tipos de aceite para la producción de biodiésel.....	12
Gráfico 3.	Rentabilidad del biodiésel a partir de las principales materias primas vegetales, con y sin subvenciones (2000-2016).....	13
Gráfico 4.	Procedimiento de selección, inclusión y exclusión	19
Gráfico 5.	Promedio porcentual de materias primas más usadas para la producción de biodiesel.....	27
Gráfico 6.	Promedio del rendimiento de los catalizadores usados mediante aceites mixtos.....	36

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue determinar los puntos esenciales a conocer del uso de aceites mixtos y catalizadores para la producción de biodiesel. La metodología de investigación usada fue de tipo aplicada, con un diseño sistemático; donde se recolectaron 51 artículos a nivel mundial.

Los resultados mostraron que, las materias primas de aceites mixtos con mayor uso son los aceites vegetales comestibles, aceites vegetales no comestibles, grasas animales, aceite de cocina usado y aceite de algas; el aceite vegetal comestible presenta un porcentaje del 48% con artículos que lo aplican; encontrándose entre ellos el aceite de palma, aceite de soja y Aceite de girasol. Los catalizadores usados son catalizadores de bases homogéneas; como el KOH (Hidróxido de potasio), NaOH (Hidróxido de sodio); catalizadores heterogéneos; como residuos de ceniza de madera, cáscara de frutos y enzimas. Obteniendo que estos catalizadores informados mostraron una alta actividad y una rápida conversión de los aceites. El rendimiento de los catalizadores usados se encuentra en un promedio del 90 al 100%. Además, teniendo en cuenta que los rendimientos se dan mediante algunos catalizadores homogéneos y heterogéneos en la producción de biodiesel a partir de aceites mixtos o materias primas combinadas.

Palabras clave: biodiesel, catalizador, algas, vegetal, homogéneo

Abstract

The objective of this work was to determine the essential points to know about the use of mixed oils and catalysts for the production of biodiesel. The research methodology used was of the applied type, with a systematic design; where 51 articles were collected worldwide.

The results showed that the raw materials of mixed oils with the greatest use are edible vegetable oils, non-edible vegetable oils, animal fats, used cooking oil and algae oil; edible vegetable oil presents a percentage of 48% with articles that apply it; among them are palm oil, soybean oil and sunflower oil. The catalysts used are homogeneous base catalysts; such as KOH (potassium hydroxide), NaOH (sodium hydroxide); heterogeneous catalysts; such as wood ash residues, fruit peel and enzymes. Obtaining that these reported catalysts showed high activity and fast conversion of oils. The yields of the catalysts used were found to average from 90 to 100%. Moreover, considering that the yields are given by some homogeneous and heterogeneous catalysts in the production of biodiesel from mixed oils or blended feedstocks.

Keywords: biodiesel, catalyst, algae, vegetable, homogeneous.

I. INTRODUCCIÓN

En el mundo actual, la demanda de energía está aumentando drásticamente debido a la rápida industrialización y al crecimiento de la población (Brauers H. y Oei Pao Y., 2020, p.2). La mayor parte de la demanda mundial de energía se satisface con combustibles fósiles, que se agotarán en 2050, ya que se están agotando día a día debido al consumo excesivo de combustibles (Hielscher S. y Wittmayer J., 2022, p.2).

Lo que conlleva a que se produzca un intenso agotamiento de los recursos petroleros debido a la enorme producción de petrodiesel y de otros productos derivados del petróleo (Emsbo Mattingly et al., 2016, p.1). Además, esto está provocando el agotamiento de los recursos fósiles no renovables y, al mismo tiempo, la civilización humana está escalando hacia el peligro de la crisis energética (Yaman Cevat et al., 2020, p.2).

Siendo así que los estudios predijeron que habrá un rápido aumento en la demanda de energía para 2030 y que no habrá combustibles fósiles para uso humano para 2060 (Mukherjee Anwesha et al., 2022, p.4).

Con ello, el aumento del uso de combustibles fósiles no renovables está contribuyendo a aumentar los gases de efecto invernadero en el medio ambiente y, como resultado, la humanidad se enfrenta al calentamiento global (Vohra Karn et al., 2021, p.2).

Por lo tanto, para hacer frente a los continuos desarrollos y a la creciente demanda de energía, los combustibles renovables, como el bioetanol y el biodiésel, han surgido como combustibles potenciales que pueden sustituir a las fuentes de energía convencionales (Bankovic Ilic I. et al., 2017, p.2).

El biodiésel ha ganado una creciente atención en todo el mundo, ya que es biodegradable, no tóxico, renovable y neutro en carbono y, por lo tanto, es un combustible respetuoso con el medio ambiente (Naylor R. y Higgins M., 2017, p.2). Además, la combustión del biodiésel reducirá significativamente los efectos

adversos sobre el medio ambiente y puede satisfacer la elevada demanda energética actual, al menos en cierta medida (Thakur P., 2019, p.2).

Así la aplicación del biodiésel mostró una reducción de las emisiones netas de dióxido de carbono en base al ciclo de vida, monóxido de carbono, partículas e hidrocarburos no quemados en un 78, 46,7, 66,7 y 45,2%, respectivamente.

Pero, además, el biodiésel o químicamente conocido como éster metílico de ácidos grasos (FAME) puede derivarse de la reacción química de materias primas, ya sean aceites vegetales o grasas animales, y alcohol con o sin la presencia de un catalizador (Alam Md. Y Tanveer Md., 2020, p.3). Donde se vienen estudiando varios tipos de aceite para la producción del biodiesel incluido los combustibles de primera generación que pueden clasificarse como aceite comestible, entre ellos el aceite de palma, el aceite de girasol y aceite de soja (Zullaikah Siti et al., 2019, p.5).

Ante ello, se plantea la siguiente pregunta como problema de estudio: ¿Cuáles son los puntos esenciales a conocer del uso de aceites mixtos y catalizadores para la producción de biodiesel?

Como problemas específicos se plantearon:

PE1: ¿Cuáles son las materias primas de aceites mixtos con mayor uso para la producción de biodiesel?

PE2: ¿Cuáles son los catalizadores usados mediante aceites mixtos para la síntesis de biodiesel?

PE3: ¿Cuál es el rendimiento de los catalizadores usados mediante aceites mixtos para la síntesis de biodiesel?

Así mismo, se planteó el siguiente objetivo de estudio: Determinar los puntos esenciales a conocer del uso de aceites mixtos y catalizadores para la producción de biodiesel.

Como objetivos específicos:

OE1: Seleccionar son las materias primas de aceites mixtos con mayor uso para la producción de biodiesel

OE2: Clasificar los catalizadores usados mediante aceites mixtos para la síntesis de biodiesel

OE3: Identificar rendimiento de los catalizadores usados mediante aceites mixtos para la síntesis de biodiesel

Desde las últimas dos décadas, el biodiesel preparado a partir de diversas fuentes naturales renovables está ganando mucha atención debido a su naturaleza ventajosa y amigable con el medio ambiente sobre el combustible fósil. Por lo cual se realizará la recolección de estudios en los últimos años, que empleen aceites mixtos y uso de catalizadores para la producción de biodiesel, por lo cual este trabajo presenta una justificación teórica. Así mismo, el presente trabajo de investigación se realiza con el fin de hacer frente a las preocupaciones ambientales actuales y la situación de deterioro de las fuentes de energía convencionales, por lo cual se busca este trabajo va dirigido a los futuros ingenieros ambientales para que busquen combustibles verdes y limpios como fuentes alternativas de energía para el futuro.

II. MARCO TEÓRICO

Mediante la búsqueda de desarrollar el objetivo de estudio para determinar los puntos esenciales a conocer del uso de aceites mixtos y catalizadores para la producción de biodiesel, se realizaron selecciones de estudios a nivel mundial, mostrando los más relevantes a continuación:

Phromphithak S. et al., (2020, p.1); en su trabajo se investigó la producción de ésteres metílicos a partir de la transesterificación de aceite de palma en un sistema de flujo continuo calentado por microondas. Donde, se empleó hidróxido de colina (ChOH) como catalizador líquido iónico verde. La relación molar de aceite a metanol, la tasa de flujo, la potencia del microondas y la carga del catalizador se variaron y optimizaron mediante la metodología de superficie de respuesta combinada con el diseño de experimentos de Box-Behnken para biodiésel máximo. La condición óptima se identificó con una relación molar entre el aceite y el metanol de 1:13,2, un caudal de 20 ml/min, una potencia de microondas de 800 W y una carga de catalizador del 6 % (p/p), lo que da un contenido de ésteres metílicos de casi el 90 %. en la prueba estándar EN 14103. Además, se observó que la mayoría de las propiedades del biodiesel considerado cumplían con las especificaciones de combustible de la norma ASTM D6751 tailandesas (uso comunitario). Se demostró la reutilización del líquido iónico varias veces antes de que se contaminara y descompusiera, lo que provocó una marcada caída en actividad catalítica .

Jindapon W. et al., (2020, p.1); en su trabajo se utilizaron desechos de conchas marinas (*Meretrix meretrix*) como fuente renovable de calcio para preparar una serie de catalizadores base heterogéneos para la producción de biodiesel, una mezcla de ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME), mediante transesterificación de aceite de palma con metanol en un reactor de lecho fijo de flujo continuo. La estructura de poros de los catalizadores extruidos obtenidos a diferentes temperaturas se analizó mediante medición de fisiorción de nitrógeno, microscopía electrónica de barrido (SEM) y micro-CT, y luego se correlacionó con sus propiedades mecánicas y rendimiento catalítico. El aumento de la temperatura de

calcinación de 300 °C a 800 °C disminuyó la fracción de vacíos de aire, lo que resultó en una caída severa del rendimiento de FAME debido al problema del transporte de masa. La adición de ésteres metílicos comerciales a la reacción mejoró la difusión de masa de manera efectiva y mejoró la producción de biodiesel y el catalizador extruido calcinado a 300 °C tenía hidróxido de calcio como fase activa principal.

Kefas Haruna M. et al., (2019, p.1); en su estudio el catalizador ácido de glucosa se sintetizó mediante un enfoque de sulfonación modificado y se utilizó con éxito en un reactor de flujo oscilatorio continuo para producir un biodiésel ecológico en condiciones atmosféricas. Se empleó materia prima de destilado de ácidos grasos de palma (PFAD) que consistía en >90% de ácidos grasos libres en una reacción de esterificación de un solo paso. El catalizador de glucosa sulfonada modificada preparado se caracterizó utilizando FTIR, XRD, TPD-NH₃, FESEM, EDX y APUESTA. La optimización de los parámetros del proceso realizada en el reactor de flujo oscilante (OFR) logró una conversión de >97% del PFAD a biodiesel con un rendimiento de FAME del 94,21%. Los parámetros de proceso óptimos para una conversión óptima por el catalizador sintetizado fueron una carga de catalizador del 2,5 % en peso, una frecuencia de oscilación de 6 Hz, una relación molar de 9:1, una temperatura de reacción de 60 °C y un tiempo de residencia de 50 min. Además, el catalizador eficiente fue reutilizable hasta por cuatro ciclos con una pérdida mínima de actividad logrando una conversión de alrededor del 80% en el cuarto ciclo.

García Martín J. et al., (2018, p.1); en su artículo describe la producción de biodiesel a partir de aceite de cocina usado (50% (v/v) de aceite de oliva/aceite de girasol) en un reactor de flujo oscilatorio (OFR) en modo discontinuo. En primer lugar, verificaron que el rendimiento de biodiesel en OFR era mayor que en el reactor de tanque agitado (STR) en las mismas condiciones experimentales, y que la composición y las propiedades del biocombustible resultante no dependían del tipo de reactor. Además, la producción de biodiesel en OFR tomó la mitad del tiempo que en STR. Posteriormente, modificaron algunos parámetros operativos de OFR para evaluar su influencia en el rendimiento de biodiesel. Se encontró que las condiciones más adecuadas eran metanol 6:1 para aceite de cocina usado relación

molar , frecuencia de oscilación de 0,67 Hz y tiempo de reacción de 30 min. Finalmente, el biocombustible obtenido se probó en un motor 2.0 TDI de 140 CV EURO4 instalado en un banco de pruebas de motores. El consumo específico de combustible , la distribución del tamaño de las partículas y la concentración de los contaminantes de la muestra de gases de escape se analizaron con diésel comercial, mezcla de diésel/biodiésel al 50 % (v/v) (B50) y biodiésel (B100) para garantizar la viabilidad del uso de este biocombustible en motores de vehículos.

Murillo Gabriel et al., (2019, p.1); su trabajo en un reactor de nuevo diseño, la producción de biodiesel se llevó a cabo con aceite de soya (SBO) en un sistema libre de solventes mediante transesterificación por lipasa de *Burkholderia cepacia* inmovilizada bajo la influencia de emulsificación ultrasónica. Efectos de los parámetros operativos a saber. Se investigaron la relación molar de metanol a aceite , la concentración de agua, la concentración de enzimas inmovilizadas y la temperatura sobre el rendimiento de ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME). Relación molar y concentración de enzima mostró una correlación lineal significativa con el rendimiento de biodiesel ($r = - 0,8$ y $0,6$; respectivamente). El análisis de regresión lineal de ambos parámetros reveló posteriormente una capacidad de predicción significativa para el biodiesel con un rendimiento de 78,8 y 31,7%, respectivamente. El rendimiento de FAME fue del 30% a las 7 h en el pretratamiento reactor. Sin emulsificación ultrasónica, el rendimiento mejoró significativamente al 64 % para el mismo tiempo de reacción en el reactor de lecho empacado. Sin embargo, el tiempo de reacción se redujo significativamente aún más bajo la influencia de la emulsificación ultrasónica junto con la lipasa inmovilizada como catalizador y dio como resultado un mayor rendimiento de biodiésel del 68,6 % a las 3 h.

Jazie Ali A. et al., (2020, p.2); investigó el aceite utilizando un catalizador de ácido dodecilsulfónico en el reactor de lecho empacado lleno de anillos raschig de vidrio cilíndricos. Se encontró que las mejores condiciones para las reacciones de esterificación y transesterificación eran (temperatura de proceso: 373,15 K, tiempo de residencia: 30 min, relación alcohol metílico/aceite: 30 y carga de catalizador: 11% en peso), lo que proporciona un rendimiento del 99%. También, al probar el efecto del contenido de agua y el mejor valor para la producción de más

del 90 % de rendimiento de biodiésel debe ser inferior al 0,5 % en peso se encontró que el índice de acidez disminuyó fuertemente usando el catalizador DBSA en la reacción de esterificación. DBSA resultó ser un catalizador muy activo para la transesterificación de *Chlorella sp.* en comparación con la actividad de HCatalizador 2SO₄. _ El tiempo de residencia de solo 30 min usando el catalizador DBSA haría que el proceso fuera más económico en comparación con el proceso por lotes usando catalizador de ácido sulfúrico que consume más de 12 h. La caracterización del flujo en el reactor de lecho empacado se probó y caracterizó como flujo viscoso laminar con un número de Reynold de 6.42×10^{-5} .

Zik N. et al., (2020, p.2); en su estudio el biodiésel se sintetizó a partir de una reacción de aceite de cocina usado (WCO) y metanol en presencia de un catalizador derivado de huesos de pollo y residuos de coco en un reactor de lecho empacado. El óxido de calcio (CaO) se extrajo del hueso de pollo calcinado y la celulosa nanocristalina (NCC) se aisló del residuo de coco mediante hidrolización ácida y se soportó con alcohol polivinílico (PVA). El catalizador se analizó utilizando infrarrojo transformado de Fourier (FTIR), microscopía electrónica de barrido de emisión de campo (FESEM), análisis termogravimétrico (TGA) y difracción de rayos X (XRD) para estudiar su composición elemental y morfología superficial .. Los parámetros usados para la reacción fueron optimizados por Diseño de Experimento (DOE) usando Diseño Compuesto Central (CCD) para maximizar el rendimiento de biodiesel. El rendimiento máximo de 98,40 % se obtuvo a temperatura óptima, metanol a aceite y carga de catalizador de 65 °C, 6:1 y 0,5 % en peso, respectivamente. La investigación sobre la cinética de la reacción especificó que la reacción siguió a una reacción de pseudo primer orden con un valor de k que osciló entre 0,0092 min⁻¹ y 0,0151 cm⁻¹ymódulo de Thiele fue inferior a 2. La energía de activación es para la reacción transesterificación kJ/mol.

Haponska M. et al., (2019, p.2); en su trabajo de investigación tuvo como objetivo estudiar el comportamiento de diferentes reactores de membrana combinados con ; además los objetivos principales fueron: identificar un catalizador adecuado, elegir la inmovilización adecuada técnica, establecer la membrana con el tamaño de poro adecuado, y controlar el proceso de reacción y separación. Amberlyst®15 con sitios ácidos y diferentes tipos de óxido de estroncio con sitios básicos se probaron como

catalizadores heterogéneos. El óxido de estroncio proporcionó la mayor conversión de aceite de girasol (alrededor del 93 %) y fue fácil de inmovilizar. Se investigaron dos configuraciones de reactores de membrana catalítica, lo que confirmó la producción de varios tipos de ésteres metílicos. La configuración que comprende la inmovilización física del catalizador sobre la membrana alcanzó un rendimiento de éster metílico de > 90% en peso.

Gong Haitao et al., (2020, p.1); en su artículo investigaron el proceso de síntesis enzimática respetuoso con el medio ambiente; optimizando la estructura del mezclador estático mediante el modelado de dinámica de fluidos computacional (CFD). El mezclador estático óptimo consta de 6 unidades mezcladoras, y la relación longitud-diámetro de cada unidad mezcladora es 1,5. En la metodología de su estudio experimental la síntesis enzimática de biodiesel se realizó entre aceite de cocina usado (WCO) y metanol por transesterificación y esterificación. Las condiciones de reacción también se optimizaron en este reactor mixto estático diseñado. Donde los resultados mostraron que, en condiciones óptimas, el tiempo de reacción puede ahorrar la mitad del tiempo en comparación con el reactor agitado tradicional, lo que indica que el mezclador estático tiene una mayor eficiencia de producción.

Thushari I. et al., (2019, p.2); en su estudio investigaron la producción de biodiesel a partir de aceite de palma residual (WPO) utilizando un catalizador ácido sólido derivado de la cáscara de coco (CCH). El catalizador se preparó mediante la impregnación directa in situ con ácido sulfúrico concentrado. La presencia de sitios activos, como grupos funcionales OH sulfónicos, carboxílicos y fenólicos en el catalizador, se confirmó mediante espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FT-IR) y espectroscopia foto electrónica de rayos X (XPS). El biodiésel más alto se obtuvo en un rendimiento del 89,8 % en condiciones óptimas de 10 % en peso de catalizador, metanol: aceite 12:1 (relación molar), después de 3 h a 130 °C y 500 rpm, en un reactor autoclave de laboratorio. Se encontró que el rendimiento de biodiesel aumenta con el incremento de la temperatura de reacción, el tiempo de reacción y la carga del catalizador, hasta un valor óptimo. El catalizador se puede reutilizar durante cuatro ciclos y el rendimiento de biodiésel fue >77 %; además se encontró que viscosidad cinemática ($2,9 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$),

punto de fluidez ($-6\text{ }^{\circ}\text{C}$), poder calorífico ($38,1\text{ MJ kg}^{-1}$), y la estabilidad a la oxidación (3 h) del biodiesel producido están de acuerdo con los estándares internacionales. Por lo tanto, se puede utilizar el biodiésel producido.

Bargole S. et al., (2021, p.1); en su estudio presenta la valorización de residuos de aceite de cocina (WCO) y polvo de residuos de mármol (MW) en la síntesis de biodiesel mediante ultrasonidos. La novedad de este estudio es el desarrollo de catalizadores ecológicos a partir de MW para la síntesis de biodiésel. Se utilizó en la síntesis de biodiésel. La síntesis de biodiesel se llevó a cabo en las condiciones optimizadas en presencia de todos los catalizadores junto con ultrasonidos. Se obtuvo un rendimiento máximo de 95,45 y 98,81 % usando MW/CAC y CaO en 180 min de tiempo de reacción en las condiciones optimizadas de relación molar de aceite a alcohol de 1:15,9, concentración de catalizador de 6,8 % en peso de aceite y temperatura de reacción de $64,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. La síntesis de biodiesel realizada utilizando el método de agitación convencional en las condiciones óptimas proporcionó un rendimiento máximo del 51,92% solo en 180 min de tiempo de reacción. Concluyendo mediante los resultados que la ultra sonicación redujo el requerimiento de energía en 1,5 veces en la producción de biodiesel en comparación con el método convencional.

Ante los estudios de los último 6 años que aplicaron aceites mixtos y uso de catalizadores para la producción de biodiesel se presenta a continuación la problemática que engloba al estudio:

El mundo depende de los combustibles fósiles para producir electricidad, que se utiliza para diversos fines industriales y domésticos (Ali Mehmood et al., 2019, p.369). Además, la Administración de Información Energética (EIA) ha previsto que el consumo de energía aumente a un ritmo medio del 1,1% anual, pasando de 500 cuatrillones de Btu en 2006 a 701,6 cuatrillones de Btu en 2030 (Muhammad A. et al., 2022, p.18).

Los combustibles fósiles están cumpliendo con las principales demandas energéticas del mundo, además de contribuir a la contaminación del medio ambiente por la emisión de gases de efecto invernadero por lo que la humanidad se enfrenta al calentamiento global (Banković–Ilić I. et al., 2017, p.1). Al mismo

tiempo, el intenso agotamiento de los recursos de combustibles fósiles y el rápido desarrollo de la ciencia y la tecnología, incluida una mayor industrialización, la demanda de energía está aumentando considerablemente en los últimos tiempos (Nath Biswajit et al., 2019, p.2).

En comparación con otros tipos de combustibles fósiles, la demanda de petróleo disminuirá en los próximos 25 años, aunque en términos absolutos seguirá siendo el principal combustible que abastece la demanda universal de energía hasta 2030 (Dordi T. et al., 2022, p. 60).

Además, los combustibles fósiles se extraen a costos relativamente económicos y son fáciles de almacenar, transportar o canalizar, sin embargo, la quema de combustibles fósiles tiene diversos efectos nocivos sobre el medio ambiente (Willerth S., 2019, p. 275). Se sabe que la quema de petróleo y carbón libera partículas que pueden contaminar la tierra, el aire y el agua (Becerril Valle M. et al., 2017, p.36).

Según los conceptos recientes, el "presupuesto de carbono de la tierra" se utiliza para equilibrar los contenidos de carbono natural de los océanos, los mares, la atmósfera y la tierra, incluida la quema de combustibles fósiles convencionales (Blanco Donado E. et al., 2022, p.2).

Los combustibles fósiles utilizados convencionalmente liberan una gran cantidad de dióxido de carbono a la atmósfera debido a la quema excesiva, lo que contribuye al "efecto invernadero" y al "calentamiento global". como se muestra en la Gráfico 1.

Gráfico 1. *Quema de residuos agrícola y de carbón (combustible fósil)*



Fuente: Elaboración propia

Este efecto invernadero depende principalmente del balance de carbono del ecosistema, esencial para sostener todas las formas de vida en la tierra (Pellegrini L. et al., 2021, p.3). Mediante la extracción del carbono almacenado en la tierra, este ingresa a la atmósfera, desequilibrando así el balance de carbono de la tierra (Zhang Yimming et al., 2022, p.3). Como resultado de este proceso, la temperatura promedio de la tierra comienza a aumentar, mucho más rápido que la tasa de adaptación de los organismos vivos (Martin-Pozas T. et al., 2022, p.2).

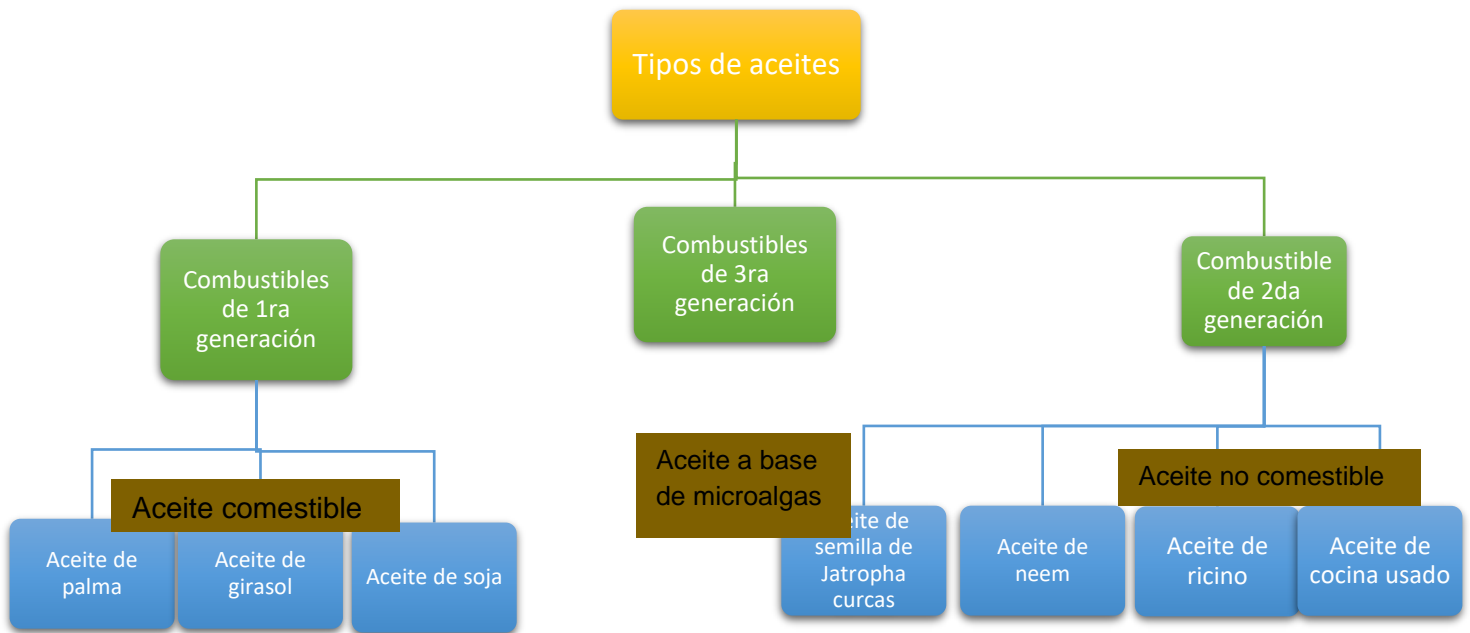
Por lo tanto, para hacer frente a las preocupaciones ambientales actuales y la situación de deterioro de las fuentes de energía convencionales, los investigadores están buscando combustibles verdes y limpios como fuentes alternativas de energía para el futuro (Yahya Noor T. et al., 2018, p.2).

Siendo así que, las propiedades del biodiésel, como el flujo, la composición química y la combustión, son comparables a las del diésel, por lo que puede utilizarse de forma eficaz mezclándolo con el diésel en el motor diésel directamente o con una ligera modificación que proporcione un rendimiento similar del motor (Abdullah Sharifah H. et al., 2017, p.3). Además, el biodiésel no contiene azufre ni compuestos aromáticos, aporta un mayor número de cetano, una mayor eficiencia de la combustión y una mejor lubricidad que aumenta la durabilidad del motor, y también reduce las emisiones de partículas, CO, CO₂ y NO_x (Zhao Che et al., 2018, p.3).

El biodiesel tiene varias ventajas sobre los combustibles fósiles, ya que posee un alto índice de cetano, un alto punto de inflamación, baja viscosidad, buena lubricidad (Nagappan M. et al., 2022, p.1). Además de que el biodiesel no es tóxico, es biodegradable, emite menos gases de efecto invernadero en la combustión y las propiedades del combustible son comparables con las del petróleo (Ningaraju C. et al., 2022, p.2).

El biodiesel se sintetiza a partir de aceites o grasas mediante transesterificación catalítica con alcohol, más ampliamente metanol, siendo así que, existen diversos tipos de materias primas como aceites para la producción de biodiesel (Da Silva J. et al., 2020, p.2). Ver en el Gráfico 2 la clasificación.

Gráfico 2. Tipos de aceite para la producción de biodiésel



Fuente: Elaboración propia

La producción de biodiesel se lleva a cabo comúnmente a través del proceso de reacción de transesterificación y la reacción se acelera con un catalizador adecuado ya sea homogéneo o heterogéneo (Amenaghawon A. et al., 2022, p.2).

La selección de un catalizador apropiado depende de la cantidad de ácidos grasos libres en el aceite (Mazaheri Hoorra et al., 2021, p.1). Siendo así como los catalizadores homogéneos son ampliamente elegidos para la producción de biodiesel en operación a gran escala, sin embargo, son tóxicos, altamente inflamables y corrosivos por naturaleza (Etim Anietie O. et al., 2020, p.3).

Por otro lado, los catalizadores heterogéneos son capaces de superar los problemas que enfrentan los primeros, aunque, en su mayoría se derivaron de recursos no renovables, muy costosos y de baja estabilidad (Raut S. et al., 2016, p.2). Por lo que, recientemente, los catalizadores heterogéneos derivados de desechos biológicos han recibido más atención (Tang Zo-Ee et al., 2018, p.1).

Este tipo de catalizadores ofrece varias ventajas, entre ellas recursos renovables, no tóxicos, reutilizables, alta actividad catalítica, estabilidad tanto en condiciones ácidas como básicas y propiedades de alta tolerancia al agua, que dependen de la

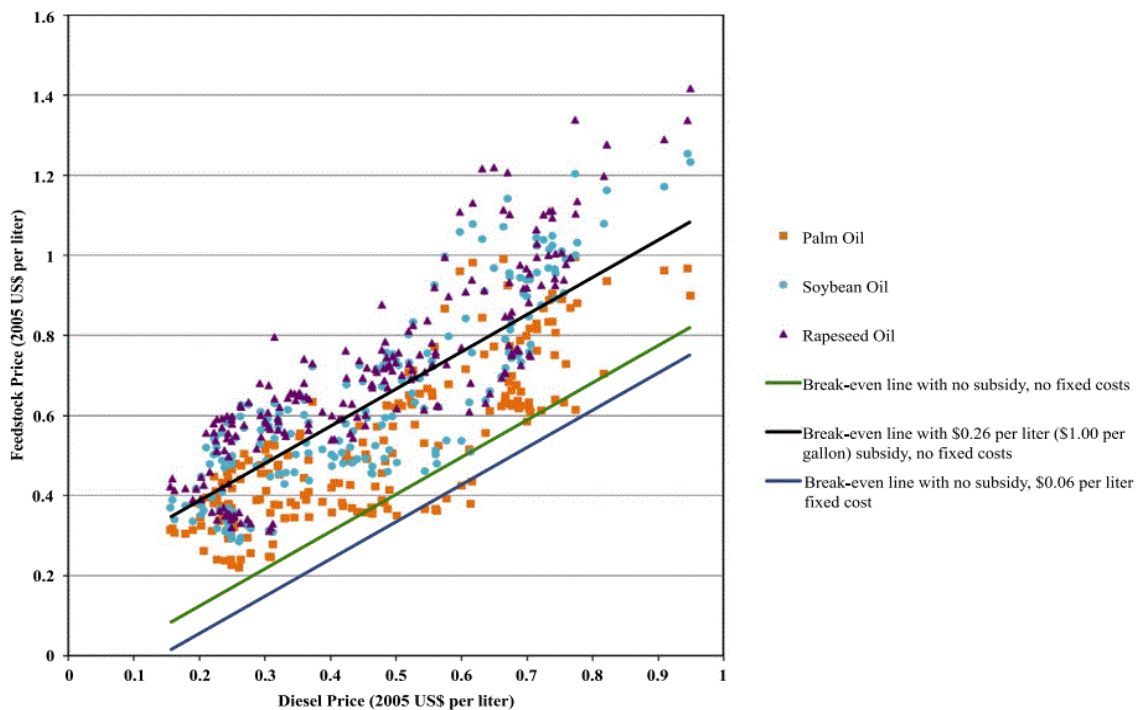
cantidad y la fuerza de los sitios básicos o ácidos activos (Ibrahim N. et al., 2022, p.4). El catalizador básico se puede subdividir según el tipo de óxidos metálicos y sus derivados, de manera similar, el catalizador ácido se puede subdividir según sus sitios ácidos activos (Ambat I. et al., 2020, p.4).

También se revisan los catalizadores generados a partir de biorresiduos y otros biocatalizadores, que son de naturaleza heterogénea y ampliamente informados (Olatundun Esther A. et al., 2020, p.2).

Pero, la producción de biodiésel rara vez es rentable sin apoyo financiero adicional, incluso cuando los precios de las materias primas son bajos (Abdullah Rose F. et al., 2020, p.1).

Siendo así como en la Gráfico 3, se muestra los precios de equilibrio de la producción de biodiésel en EE.UU. derivados de la soja, la colza y el aceite de palma en relación con los precios del gasóleo convencional.

Gráfico 3. Rentabilidad del biodiésel a partir de las principales materias primas vegetales, con y sin subvenciones (2000-2016)



Fuente: Naylor R. et al., (2017)

La Gráfico 3, muestra los precios mensuales del aceite vegetal en el eje Y y los precios mensuales del gasóleo en el eje X, en términos reales (precios de 2005) desde 2000 hasta mediados de 2015. Las líneas de equilibrio entre el biodiésel derivado de las tres materias primas y el gasóleo sin subvenciones se muestran en verde (sin costes fijos) y en azul (con costes fijos).

Es importante señalar que el biodiésel tiene el 93% del contenido energético del gasóleo fósil y que los costes variables de la conversión de aceites vegetales en biodiésel son de unos 0,07 dólares por litro. Los costes variables son más importantes que los fijos a la hora de evaluar la rentabilidad a corto plazo, ya que todavía existe un exceso de capacidad en prácticamente todos los grandes países productores de biodiésel (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Capacidad de producción de biodiésel por país, 2015

	2015 producción de biodiésel (mil millones de litros)	Capacidad nominal (mil millones de litros)	Capacidad de uso
Argentina	2.1	5.2	40%
Brasil	4.0	7.9	51%
Canadá	0.3	0.4	85%
Colombia	0.6	0.6	99%
UE	11.2	24.9	45%
Indonesia	1.2	6.8	17%
Malasia	0.6	2.9	19%
Tailandia	1.2	2.1	60%
USA	4.8	8.2	58%

Fuente: Lutoslaeski K. et al., (2017)

Pero, un problema importante para la producción a gran escala de biodiésel es la disponibilidad de materia prima; en países como la India, los aceites comestibles de alto precio no pueden utilizarse como materia prima para la producción económica de biodiesel (Fadhil A. et al., 2017, p.1). Sin embargo, los aceites no comestibles, como las semillas de caucho, Mahua, Neem, Karanja, Jatropha, Yuca,

Castor, etc., pueden utilizarse como materia prima alternativa de bajo coste (Malani R. et al., 2020, p.337).

La disponibilidad de una única materia prima no comestible durante todo el año es otro reto para la producción viable de biodiésel a gran escala (Reshad Ali S. et al., 2016, p.3). Para lo cual la única solución a dicho problema es utilizar una mezcla de diferentes aceites no comestibles como materia prima para la reacción de transesterificación utilizando un catalizador base heterogéneo de síntesis propia (Malani R. et al., 2019, p.2).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

El presente trabajo de investigación es de tipo aplicada; siendo este el tipo de investigación que pone sobre conocimiento lo aprendido de la investigación básica, donde se aplicará lo aprendido de los conocimientos para resolver un tema en específico (Thomas W. y David O., 2017, p.63). Siendo el problema a resolver los puntos esenciales a conocer del uso de aceites mixtos y catalizadores para la producción de biodiesel, así como las materias primas de aceites mixtos con mayor uso, los catalizadores usados mediante aceites mixtos y el rendimiento de los catalizadores usados.

Así mismo, el diseño usado fue el sistemático, siendo descrito por Ledezma Martínez et al., (2017, p.823), como el diseño que se utiliza para obtener y brindar soluciones a un problema, mediante el uso combinado de experiencias prácticas de estudios ya realizados, investigaciones y teorías. Siendo así que se aplicó este diseño; debido a que se recolectaron estudios de los últimos 6 años de antigüedad sobre la producción de biodiesel mediante aceites mixtos y uso de catalizadores y el problema de la contaminación por el uso de los compuestos fósiles.

3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización

El presente trabajo elaboró la matriz de categorización apriorística mediante los 3 problemas específicos ¿Cuáles son las materias primas de aceites mixtos con mayor uso para la producción de biodiesel?, ¿Cuáles son los catalizadores usados mediante aceites mixtos para la síntesis de biodiesel? Y ¿Cuál es el rendimiento de los catalizadores usados mediante aceites mixtos para la síntesis de biodiesel?); de los cuales se generaron como extensiones para un mejor planteamiento de los resultados a las categorías y sub categorías. Como subdivisión de las categorías se plantearon a las sub categorías con 2 criterios para cada una como se observa en la Tabla 2

Tabla 2. Matriz de Categorización Apriorística

Objetivos específicos	Problemas específicos	Categoría	Subcategoría	Criterio 1	Criterio 2
Seleccionar son las materias primas de aceites mixtos con mayor uso para la producción de biodiesel	¿Cuáles son las materias primas de aceites mixtos con mayor uso para la producción de biodiesel?	Materias primas de aceites mixtos (García Martín J. et al., 2018, p.1)	-Aceites vegetales comestibles -Aceites vegetales no comestibles -Grasas animales -Aceite de algas (Martin-Pozas T. et al., 2022, p.2).	De acuerdo a los reactores usados	De acuerdo a las condiciones de reacción
Clasificar los catalizadores usados mediante aceites mixtos para la síntesis de biodiesel	¿Cuáles son los catalizadores usados mediante aceites mixtos para la síntesis de biodiesel?	Catalizadores usados mediante aceites mixtos (Zink N. et al., 2020, p.2)	-Catalizadores homogéneos -Catalizadores heterogéneos (Nagappan M. et al., 2022, p.1).	De acuerdo al tipo de catalizador	De acuerdo a la materia prima usada
Identificar rendimiento de los catalizadores usados mediante aceites mixtos para la síntesis de biodiesel	¿Cuál es el rendimiento de los catalizadores usados mediante aceites mixtos para la síntesis de biodiesel?	Rendimiento de los catalizadores (Bargole S. et al., 2021, p.1)	-Eficiencia alta -Eficiencia media -Eficiencia baja (Olatundun Esther A. et al., 2020, p.2).	De acuerdo al porcentaje de rendimiento	De acuerdo al tiempo empleado

Fuente: Elaboración propia

3.3. Escenario de estudio

El escenario en el presente trabajo fueron los diversos lugares de extracción de aceites mixtos usados por los investigadores para la producción de biodiesel, así como los laboratorios donde llevaron a cabo el proceso experimental. Ello debido a que el presente estudio cuenta con un diseño sistemático, por lo cual no se realizaron estudios experimentales, se realizaron análisis de los estudios ya existentes.

3.4. Participantes

El presente trabajo sistemático tomó como participantes a los portales web que permitieron el acceso, estudio y extracción de artículos científicos, para la selección y recolección de las fuentes a añadir al estudio.

Entre los participantes usados fueron las plataformas Sciencedirect, Scopus y Redalyc; debido a que presentan la seguridad de estudios indizados a nivel nacional e internacional.

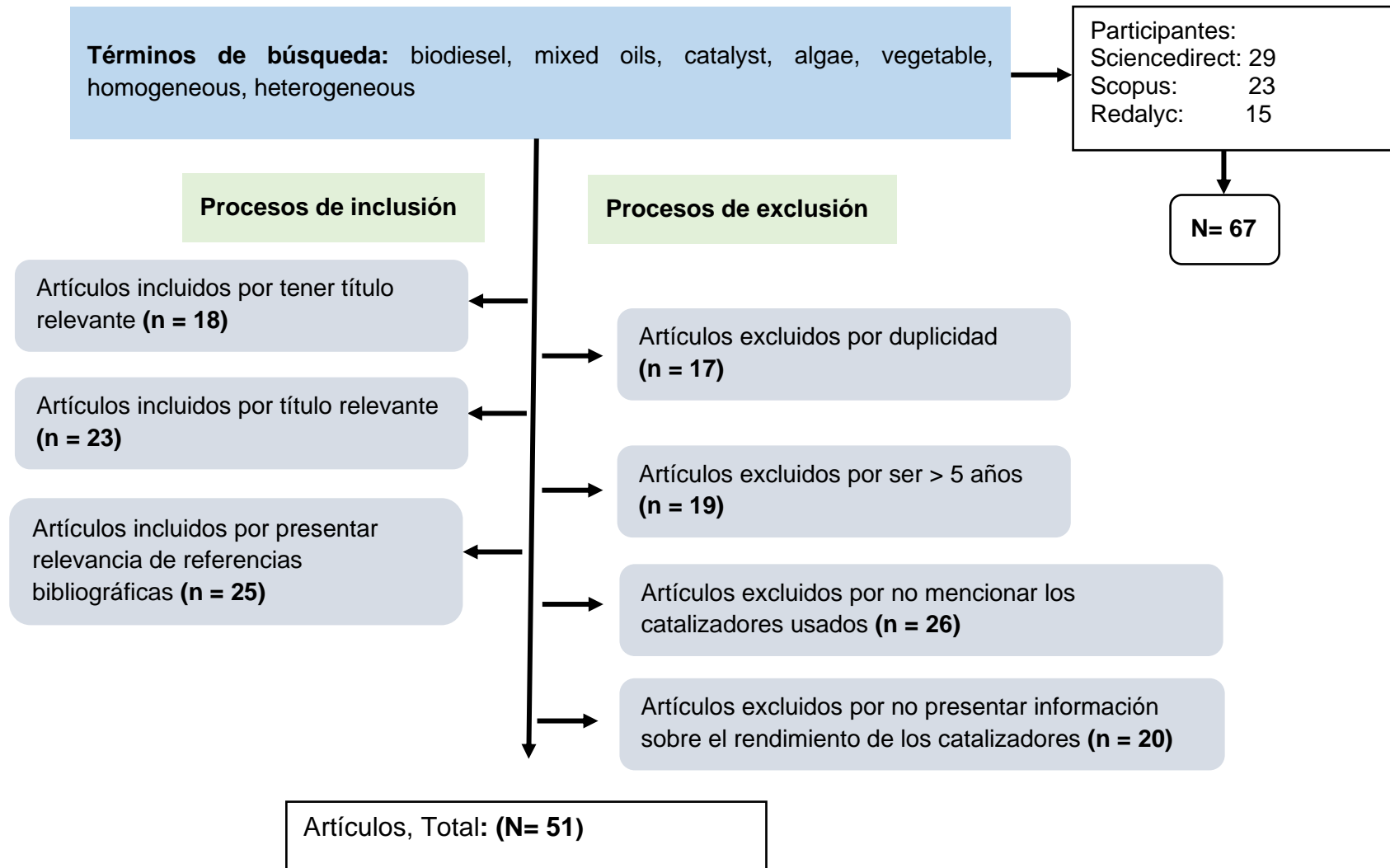
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica usada es el método de análisis documental. Esta técnica permite recoger y análisis información de un documento, por lo que se realizó la identificación de los estudios relacionados con la producción de biodiesel mediante aceites mixtos y uso de catalizadores.

Instrumento de recolección de datos es la ficha de análisis de contenido propuesta en el ANEXO 1. Dicha ficha es un documento el cual consta con la información de los datos del autor, contenido del artículo, objetivo, materias primas de aceites mixtos con mayor uso para la producción de biodiesel, catalizadores usados mediante aceites mixtos, rendimiento de los catalizadores, resultados y conclusión.

3.6. Procedimiento

Gráfico 4. Procedimiento de selección, inclusión y exclusión



Fuente: Elaboración propia

3.7. Rigor científico

Para asegurar que el proceso sea confiable, Maher Carmel et al., (2018, p.4), proponen que la investigación satisfaga cuatro criterios. Son credibilidad, transferibilidad, confiabilidad y confirmabilidad.

La credibilidad asegura que el estudio mide lo que se pretende y es un fiel reflejo de la realidad social de los participantes y existen muchas estrategias para abordar la credibilidad que incluyen "compromiso prolongado" y verificación de miembros.

La transferibilidad se relaciona con la capacidad de los hallazgos para transferirse a otros contextos o entornos. Debido a que la investigación cualitativa es específica de un contexto particular, es importante que se proporcione una "descripción detallada" del contexto de investigación particular que permita al lector evaluar si es transferible a su situación o no.

La confiabilidad asegura que el proceso se describa con suficiente detalle para facilitar que otro investigador repita el trabajo. Esto requiere una pista de auditoría detallada.

La confirmabilidad es comparable a la objetividad en los estudios cuantitativos. Aquí, el objetivo es minimizar el sesgo del investigador reconociendo sus predisposiciones.

3.8. Método de análisis de información

El método utilizado en el presente trabajo fue la triangulación; ello debido a que este permite el uso de varios métodos o fuentes de datos; como es el caso de la matriz apriorística, donde se detallaron las categorías y sub categorías; las cuales permiten desarrollar una comprensión integral de los fenómenos.

Donde las categorías son 3: Materias primas de aceites mixtos, Catalizadores usados mediante aceites mixtos, Rendimiento de los catalizadores

Mientras que las sub categorías fueron: Aceites vegetales comestibles, Aceites vegetales no comestibles, Grasas animales, Aceite de algas - Catalizadores

homogéneos, Catalizadores heterogéneos - Eficiencia alta, Eficiencia media, Eficiencia baja

3.9. Aspectos éticos

Los aspectos éticos cumplidos en el presente estudio fueron el respeto, donde se respetaron los autores citados, mediante la Norma ISO 690; así mismo, la honestidad, donde se brindó toda la información donde se brinda la seguridad que la información expuesta es verdadera, así como se da la seguridad que la información no es tergiversada y ello se puede comprobar mediante la información plasmada de los autores, el año y página de la cual se extrajo la información.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mediante la comparación de 51 artículos científicos seleccionados se pudo construir las tablas Tabla 3, Tabla 4 y Tabla 5 que nos permitieron determinar los puntos esenciales a conocer del uso de aceites mixtos y catalizadores para la producción de biodiesel.

Siendo así que mediante la Tabla 3 se seleccionaron las materias primas de aceites mixtos con mayor uso para la producción de biodiesel

Tabla 3. Materias primas de aceites mixtos con mayor uso

Reactores utilizados	Materia prima de biodiésel	Condiciones de reacción					Referencias
		Catalizador (% en peso)	Alcohol/aceite	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Rendir (%)	
Flujo continuo calentado por microondas	Aceite de palma	6	13.2:1	68	5	89.72	Phromphithak S. et al., (2020, p.1)
Cama fija	Aceite de palma	10	30:1	65	60	>99	Jindapon W. et al., (2020, p.1)
flujo oscilatorio	Destilado de ácidos grasos de palma	2.5	9:1	60	50	94.21	Kefas Haruna M. et al., (2019, p.1)
flujo oscilatorio	Aceite de cocina usado	1	6:1	60	30	78.8	García Martín J. et al., (2018, p.1)
Cama empacada	Aceite de soja	3	4:1	40	180	97.24	Murillo Gabriel et al., (2019, p.1)
Cama empacada	<i>Chlorella</i> sp. Aceite	11	30:1	100	30	99	Jazie Ali A. et al., (2020, p.2)

Cama empacada	Aceite de cocina usado	0.5	6:1	65	-	98.40	Zink N. et al., (2020, p.2)
Membrana	Aceite de girasol	3	12:1	65	30	>90	Haponska M. et al., (2019, p.2)
Mezclador estático	Aceite de cocina usado	1	1:1	40	540	86.5	Gong Haitao et al., (2020, p.1)
Continuo asistido por microondas	Aceite de cocina usado	5.36	12,26:1	65	58.46	97.15	Ali Mohd A. et al., (2020, p.2)
Autoclave	Residuos de aceite de palma	10	13:1	130	180	89.8	Thushari I. et al., (2019, p.2)
Robinson Mahoney	Aceite de cocina usado	8.75	8,72:1	60	120	>98,5	Soria figueroa E. et al., (2020, p.1)
Ultrasónico	Aceite de cocina usado	6.8	15,9:1	64.8	180	95.45	Bargole S. et al., (2021, p.1)
Ultrasónico	Aceites vegetales de desecho	1.5	6:1	70	60	98	Topare N. y Patil K., (2021, p.2)
tubo giratorio	Aceite de palma	1	6:1	30	180	97.5	Chanthon N. et al., (2021, p.1)

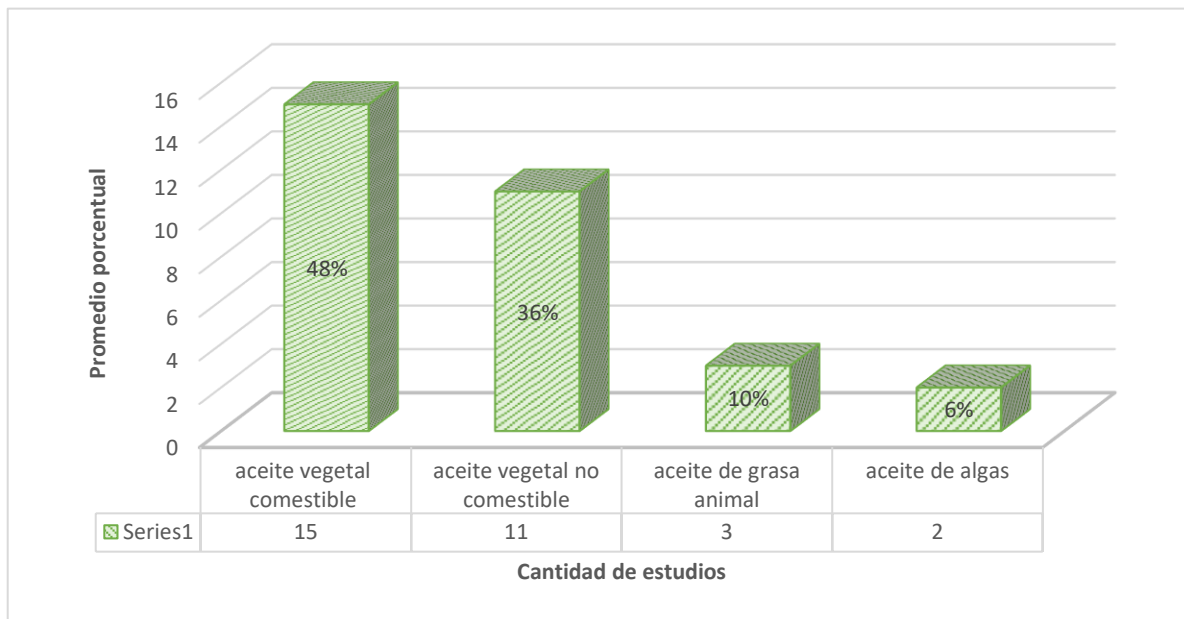
Microondas	Aceite de cocina usado	0.8	12:1	65	2	98.4	Hsiao Ming-Chien et al., (2021, p.2)
Microondas	Manteca de cerdo	8	30:1	65	85	90.89	Lawan Ibrahim et al., (2020, p.1)
Microburbuja	Aceite de grasa de pollo	7	13,7:1	70	30	89,90	Javed Fahed et al., (2021, p.1)
Microcanal	Aceite de palma	5	7,6:1	25	0,66	98.6	Laziz Afiq M. et al., (2020, p.2)
Lote	Aceite de <i>Euglena sanguínea</i>	6	0,35:1	70	80	90	Miriam LR et al., (2021, p.1)
microrreactor	Aceite de cocina usado	8.5	2,25:1	63.1	1	99.24	Mohadesi M. et al., (2021, p.1)
mezcla estática	Aceite de palma	0.5	6:1	60	-	99.85	Panggabean S. et al., (2021, p.1)
Cavitación hidrodinámica	Aceite de pulgar	1.2	6:1	60	60	71.8	Patil A. y Baral S., (2021, p.1)
Cavitación hidrodinámica	Aceite de cártamo	0,94	8,36:1	-	1.06	89.11	Samani V. et al., (2021, p.2)

Solar	Aceite de cocina usado	0.75	12:1	56.5	195	82	Sivarethinamohan S. et al., (2022, p.1)
Cavitación hidrodinámica	Aceite de pulgar	1.2	6:1	60	60	71.8	Patil A. et al., (2022, p.2)
Cavitación hidrodinámica	Aceite de castor	1.06	9,82:1	60.3	50.86	92.27	Thakkar K. et al., (2022, p.1)
Ultrasónico	Aceite de cocina usado	6.04	8.33:1	55	39.84	98.62	Attari A. et al., (2022, p.1)
Ultrasónico	Café molido gastado	4	30:1	-	180	97.11	Goh Brandon H. et al., (2020, p.1)
Microondas	Aceite de palma	9.17	11:1	108	385.8	98.93	Ding Hui et al., (2018, p.1)
Ultrasónico	Aceite de cocina usado	1	6.1:1	59.5	10	96.63	Aghbashlo M. et al., (2017, p.2)

Fuente: Elaboración propia

Debido a que la materia prima por sí sola representa más del 75% del costo total de producción de biodiesel, seleccionar la mejor materia prima es vital para garantizar un bajo costo de producción; por lo que, las materias primas de aceites mixtos con mayor uso por los 31 artículos para la producción de biodiesel son los aceites vegetales comestibles, aceites vegetales no comestibles, grasas animales, aceite de cocina usado y aceite de algas.

Gráfico 5. Promedio porcentual de materias primas más usadas para la producción de biodiesel



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con el Gráfico 5 respecto a la Tabla 3 se tiene que el aceite vegetal comestible presenta un porcentaje del 48% con artículos que lo aplican; encontrándose entre ellos el aceite de palma (Phromphithak S. et al., 2020, p.1), aceite de soja (Murillo Gabriel et al., 2019, p.1), Aceite de girasol (Haponska M. et al., 2019, p.2).

Así mismo, entre las materias primas de aceites mixtos los aceites vegetales comestibles en la literatura de Sigh Digambar et al., (2021, p.2); revela que más del 95 % de la producción mundial de biodiésel proviene de aceites comestibles individuales como la colza (84 %), la palma (1 %), el girasol (13 %), la soja y otros (2 %).

Así también lo corrobora Samani V. et al., (2021, p.2), en su estudio, donde utilizando aceite de cártamo en un reactor de cavidad hidrodinámica, produjo combustible biodiesel en el menor tiempo posible y con la máxima eficiencia. Además, señalando que los mejores valores para el efecto del tiempo de reacción fueron de (30, 60 y 90 s), concentración de catalizador de hidróxido de potasio (0.75%, 1% y 1.25%), relación alcohol a aceite (6, 8 y 10) y distancia rotor-estator (1 cm, 2 cm y 3 cm) sobre el rendimiento de la reacción. Por lo tanto, la transesterificación de aceite de cártamo con una cavitación puede funcionar como una buena alternativa al diésel.

Pero, las afirmaciones hechas son contrastadas por Thakkar K. et al., (2022, p.1); quien menciona que, para mitigar la demanda de aceite comestible como materia prima de biodiesel, se necesitan más tierras de cultivo y esto puede resultar en la destrucción ambiental de los recursos vitales del suelo por la deforestación en la creación de tierras de cultivo.

Además, la producción de biodiésel a partir de una sola materia prima de aceite comestible no es factible a largo plazo debido a la brecha de cultivo y la falta de disponibilidad de tipos particulares de plantas de aceite comestible por su adaptabilidad para crecer en diferentes regiones con diferentes condiciones ambientales (Rahman s. et al., 2021, p.3).

Ante lo cual, investigadores como Attari A. et al., (2022, p.1), Sivarethinamohan S. et al., (2022, p.1) y Hsiao Ming-Chien et al., (2021, p.2); muestran que las materias primas de aceite no comestible como el aceite de cocina usado son económicamente viables para la producción de biodiesel. Ante ello, los aceites no comestibles con mayor uso por los 31 artículos fueron el aceite de cocina usado en un 36%.

Pero a su vez el autor Rezanía Shahabaldin et al., (2019, p.2), en su artículo señala que un solo aceite no comestible en particular como materia prima también necesita un área extra grande para el cultivo, lo que crearía un conflicto en la producción de alimentos versus combustible, y esto aumentaría el costo de producción del biodiesel.

Por otro lado, se buscó también clasificar los catalizadores usados mediante aceites mixtos para la síntesis de biodiesel; para lo cual se elaboró la Tabla 4 donde se realizó la comparación de 20 artículos.

Tabla 4. Catalizadores usados mediante aceites mixtos

Materias primas de biodiésel (aceite mixto o mezclado)	Catalizador	Referencias
Aceite de grasa de cerdo y aceite de neem	Cáscara de palmiste y cáscara de nuez de cola fermentada	Adepoju T., (2020, p.1)
Aceite de palma y aceite de sésamo	KOH	Mujtaba M. et al., (2020, p.1)
Aceite de neem y aceite de semilla de caucho	Cáscara de la vaina de <i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Falowo O. et al., (2019, p.1)
Aceite de OMA y <i>Calophyllum inophyllum</i>	KOH	Milano J. et al., (2018, p.1)
Aceite de ricino y aceite de karanja	Enzima (lipasa)	Kumar D. et al., (2019, p.2)
Aceites de <i>Calophyllum inophyllum</i> y <i>Ceiba pentandra</i>	KOH	Ong Hwai C. et al., (2019, p.2)
Aceite de OMA y <i>Calophyllum inophyllum</i>	KOH	Milano J. et al., (2018, p.2)
Aceite de rábano y aceite de hueso de albaricoque	KOH	Fadhil A. et al., (2020, p.3)
Aceite de rábano y aceite de hueso de albaricoque	KOH	

Aceite de rábano y aceite de hueso de albaricoque	KOH	
<i>Calophyllum inophyllum</i> y aceites de palma	KOH	Damanik N. et al., (2017, p.1)
Aceite de <i>calophyllum inophyllum</i> y WCO	Concha de <i>Donax deltoides</i>	Niju S. et al., (2019, p.1)
OMA y aceite de semilla de honne	<i>E. ciclocarpum</i>	Falowo O. et al., (2021, p.1)
Aceite de <i>Irvingia gabonensis</i>, <i>Pentaclethra macrophylla</i> y <i>Elaeis guineensis</i>	Ceniza de madera, caracol y cáscaras de huevo	Adepoju T.F et al., (2020, p.1)
Semillas de <i>Carica papaya</i>, <i>Citrus sinensis</i>, <i>Hibiscus sabdariffa</i> y aceites usados de desecho	<i>Lattorina littorea</i> y <i>Mactra coralina</i>	Adepoju T.F et al., (2021, p.1)
Aceite de <i>Jatropha curcas</i> , aceite de ricino y WCO	Óxido de zinc impregnado con KI	Malani Ritesh S. et al., (2019, p.2)
Sebo de res y aceite de soja	<i>Thermomyces lanuginosus</i>	Wancura J. et al., (2018, p.1)
OMA y aceite de palma refinado	Ceniza voladora	Vargas E. et al., (2021, p.1)
Residuos de aceite de pescado, aceite de almendras amargas y WCO	Carbón activado derivado de neumáticos de desecho impregnado de litio	Ayoob A. y Fadhil A., (2019, p.2)
Aceites de <i>Pongamia</i> y <i>Neem</i>	NaOH	Vinayaka A. et al., (2018, p.1)

<i>Sterculia foetida</i> y aceite de salvado de arroz	KOH	Kusumo F. et al., (2021, p.1)
Grasa de pollo y WCO	Compuesto de hueso de pollo a base de K	Hassan M. et al., (2021, p.2)

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la Tabla 4, se tiene que los catalizadores usados son catalizadores de bases homogéneas; como el KOH (Hidróxido de potasio), NaOH (Hidróxido de sodio); catalizadores heterogéneos; como residuos de ceniza de madera, cáscara de frutos y enzimas. Obteniendo mediante los estudios analizados que estos catalizadores informados mostraron una alta actividad y una rápida conversión de los aceites.

Entre los catalizadores de base homogénea el hidróxido de potasio fue investigado por Samani B. et al., (2021, p.1), así como otros investigadores, donde, investigó el potencial de un reactor de cavidad hidrodinámica para la síntesis de biodiesel, a partir de aceite de cártamo utilizando Hidróxido de potasio (KOH) como catalizador. Informando que el efecto del tiempo de reacción (30, 60 y 90 s), concentración de catalizador de hidróxido de potasio (0.75%, 1% y 1.25%), relación alcohol a aceite (6, 8 y 10) y distancia rotor-estator (1 cm, 2 cm y 3 cm) sobre el rendimiento de la reacción produjo combustible biodiesel en el menor tiempo posible y con la máxima eficiencia.

Ello debido a que los catalizadores de base homogénea pueden producir altos rendimientos y convertir el petróleo en biodiesel a un ritmo muy rápido. Pero, Bi Ke Xin et al., (2022, p.6); rechaza lo mencionada, señalando que, aunque estos catalizadores homogéneos producen altos rendimientos con buenas propiedades de combustible, estos no son económicamente factibles debido a los problemas con la separación y generación de aguas residuales.

Así también se afirma mediante el estudio de Kusumo F. et al., (2021, p.1) y Vinayaka A. et al., (2018, p.1); quienes utilizaron KOH y NaOH como catalizadores de base homogénea.

Por su parte Fadhil Abdelrahman B. et al., (2020, p.1), señala que la mejor conversión de una mezcla de aceite de rábano (RO) y aceite de hueso de albaricoque (AKO) para producir biodiésel metílico (MBD) a $(96,12 \pm 1,25 \%)$ y biodiésel metílico/etílico (MEBD) a $(94,23 \pm 2,22)$ se logró a la concentración de KOH, 0,75 % p/p de aceite.

Ante ello, Pradhan Subhalaxmi et al., (2017, p.1), en su estudio explica los resultados mencionados, señalando que los hidróxidos y alcóxidos metálicos se utilizan como catalizadores base para la producción de biodiesel; ya que, cuando los hidróxidos metálicos se disuelven en alcohol, producen agua, que puede reaccionar con los triglicéridos (TG) y producir ácidos grasos libres (FFA) en lugar de los ésteres alquílicos de ácidos grasos deseados.

Además, mediante los estudios de Adepoju T.F et al., (2020, p.1), aplicó ceniza de madera, caracol y cáscaras de huevo como catalizador heterogéneo y Adepoju T., (2020, p.1) con cáscara de palmiste y cáscara de nuez de cola fermentada.

Por último, el rendimiento de los catalizadores usados mediante aceites mixtos para la síntesis de biodiesel se identificó mediante la Tabla 5.

Tabla 5. Rendimiento de los catalizadores usados

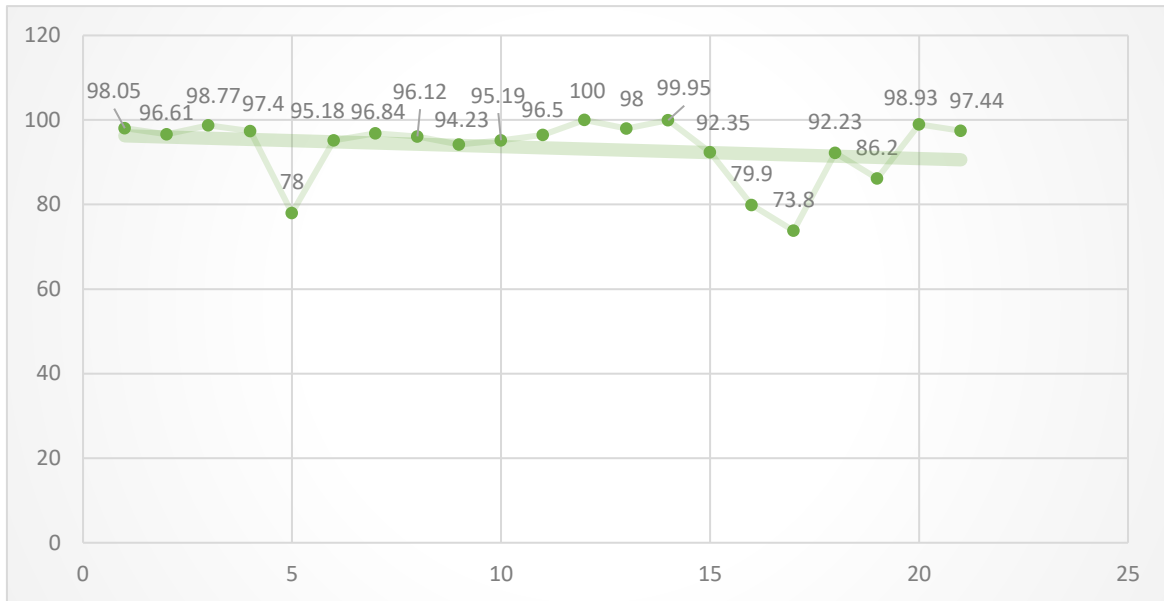
Materias primas de biodiésel (aceite mixto o mezclado)	Catalizador	Carga de catalizador (% en peso)	Parámetros		Referencias
			Tiemp. (min)	Rendi. (%)	
Aceite de grasa de cerdo y aceite de neem	Cáscara de palmiste y cáscara de nuez de cola fermentada	2.179	57.45	98.05	Adepoju T., (2020, p.1)
Aceite de palma y aceite de sésamo	KOH	0.7	38.96	96.61	Mujtaba M. et al., (2020, p.1)
Aceite de neem y aceite de semilla de caucho	Cáscara de la vaina de <i>Enterolobium cyclocarpum</i>	2.96	5.88	98.77	Falowo O. et al., (2019, p.1)
Aceite de OMA y <i>Calophyllum inophyllum</i>	KOH	0.774	7.15	97.40	Milano J. et al., (2018, p.1)
Aceite de ricino y aceite de karanja	Enzima (lipasa)	10 % (v/v)	1440	78	Kumar D. et al., (2019, p.2)
Aceites de <i>Calophyllum inophyllum</i> y <i>Ceiba pentandra</i>	KOH	0.78	153	95.18	Ong Hwai C. et al., (2019, p.2)
Aceite de OMA y <i>Calophyllum inophyllum</i>	KOH	0.5	90	96.84	Milano J. et al., (2018, p.2)

Aceite de rábano y aceite de hueso de albaricoque	KOH	0.75	45	96.12	Fadhil A. et al., (2020, p.3)
Aceite de rábano y aceite de hueso de albaricoque	KOH	0.75	45	94.23	
Aceite de rábano y aceite de hueso de albaricoque	KOH	1	75	95.19	
<i>Calophyllum inophyllum</i> y aceites de palma	KOH	0.5	90	-	Damanik N. et al., (2017, p.1)
Aceite de <i>calophyllum inophyllum</i> y WCO	Concha de <i>Donax deltoides</i>	7.5	129.3	96.5	Niju S. et al., (2019, p.1)
OMA y aceite de semilla de honne	<i>E. cyclocarpum</i>	1.75	4	100	Falowo O. et al., (2021, p.1)
Aceite de <i>Irvingia gabonensis</i>, <i>Pentaclethra macrophylla</i> y <i>Elaeis guineensis</i>	Ceniza de madera, caracol y cáscaras de huevo	4.5	64.71	98.00	Adepoju T.F et al., (2020, p.1)
Semillas de <i>Carica papaya</i>, <i>Citrus sinensis</i>, <i>Hibiscus sabdariffa</i> y aceites usados de desecho	<i>Lattorina littorea</i> y <i>Mactra coralina</i>	3	60	99.95	Adepoju T.F et al., (2021, p.1)
Aceite de <i>Jatropha curcas</i> , aceite de ricino y WCO	Óxido de zinc impregnado con KI	7	59	92.35	Malani Ritesh S. et al., (2019, p.2)

Sebo de res y aceite de soja	<i>Thermomyces lanuginosus</i>	1,45%	480	79,9	Wancura J. et al., (2018, p.1)
OMA y aceite de palma refinado	Ceniza voladora	13.57	120	73.8	Vargas E. et al., (2021, p.1)
Residuos de aceite de pescado, aceite de almendras amargas y WCO	Carbón activado derivado de neumáticos de desecho impregnado de litio	3	60	92.23	Ayoob A. y Fadhil A., (2019, p.2)
Aceites de Pongamia y Neem	NaOH	0,67	77	86.2	Vinayaka A. et al., (2018, p.1)
<i>Sterculia foetida</i> y aceite de salvado de arroz	KOH	0.7	50.64	98.93	Kusumo F. et al., (2021, p.1)
Grasa de pollo y WCO	Compuesto de hueso de pollo a base de K	4	120	97.44	Hassan M. et al., (2021, p.2)

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 6. Promedio del rendimiento de los catalizadores usados mediante aceites mixtos



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con el Gráfico 6 respecto a la Tabla 5 se tiene que los rendimientos de los catalizadores usados mediante aceites mixtos para la síntesis de biodiesel se encuentran en un promedio del 90 al 100%. Además, teniendo en cuenta que los rendimientos se dan mediante algunos catalizadores homogéneos y heterogéneos en la producción de biodiesel a partir de aceites mixtos o materias primas combinadas.

Lo que es también corroborado por lo expuesto en el estudio de Ayoob A. y Fadhil A., (2019, p.2), donde señala que la mezcla de aceite puede mantener la composición estructural requerida para biodiesel de buena calidad y ello podría producir biodiesel con alta estabilidad oxidativa y propiedades de fluidez en frío; lo que indica la longevidad del motor de combustible y su rendimiento. Pero los autores Fadhil A. et al., (2020, p.3) y Vinayaka A. et al., (2018, p.1); manifiestan que, aunque los catalizadores homogéneos (KOH y NaOH) produjeron altos rendimientos con buenas propiedades de combustible, estos no son económicamente factibles debido a los problemas con la separación y generación de aguas residuales.

Así Adepoju T., (2020, p.1), en su estudio señala que el rendimiento de biodiesel de aceite mixto (MOB) óptimo fue de 98,05 (% en peso) en una cantidad de catalizador de 2,179 (g), tiempo de reacción de 57,45 min, temperatura de reacción de 59,91 °C y MeOH/OMR de 5,9:1 (ml/ml) y los resultados del análisis XRD indicaron al CaO como el elemento constituyente predominante obtenido de la mezcla de cáscara de nuez de palma calcinada (CPKSH) y cáscara de nuez de cola fermentada calcinada (CFKNH).

Además, Mujtaba M. et al., (2020, p.1), también apoya los resultados mostrados; donde en su estudio el rendimiento óptimo de biodiesel P50S50 obtenido fue 96.6138% bajo parámetros operativos de tiempo (38.96 min), ciclo de trabajo (59.52%), relación metanol a aceite (60 V/V %) y cantidad de catalizador (0.70 wt%).

Por su parte Falowo O. et al., (2021, p.1), señala que el rendimiento de biodiesel obtenido fue de 99,61 % con una dosis de catalizador del 2,96 % en peso, un tiempo de reacción de 5,8 min, MTOR de 11,44:1 y calentamiento por microondas de 150 W. Ante ello, los valores pronosticados se validaron por triplicado y revelaron un rendimiento promedio de biodiesel de $98,77 \pm 0,16$ %.

V. CONCLUSIONES

Se puede concluir que la mezcla de dos o más aceites para la producción de biodiesel es la manera eficaz para superar la escasez de materias primas de aceite único y mejorar las propiedades y las características de rendimiento; por tal motivo, varias mezclas de aceites comestibles y no comestibles están siendo estudiados por diversos investigadores.

Así mismo, se presentan las siguientes conclusiones:

Las materias primas de aceites mixtos con mayor uso son los aceites vegetales comestibles, aceites vegetales no comestibles, grasas animales, aceite de cocina usado y aceite de algas. Así, el aceite vegetal comestible presenta un porcentaje del 48% con artículos que lo aplican; encontrándose entre ellos el aceite de palma, aceite de soja y Aceite de girasol.

Los catalizadores usados son catalizadores de bases homogéneas; como el KOH (Hidróxido de potasio), NaOH (Hidróxido de sodio); catalizadores heterogéneos; como residuos de ceniza de madera, cáscara de frutos y enzimas. Obteniendo mediante los estudios analizados que estos catalizadores informados mostraron una alta actividad y una rápida conversión de los aceites.

El rendimiento de los catalizadores usados se encuentra en un promedio del 90 al 100%. Además, teniendo en cuenta que los rendimientos se dan mediante algunos catalizadores homogéneos y heterogéneos en la producción de biodiesel a partir de aceites mixtos o materias primas combinadas.

VI. RECOMENDACIONES

Mediante los estudios analizados se recomienda buscar un pretratamiento de bajo costo y la adición de ingredientes de bajo costo para la mejora general de la materia prima de biodiesel de bajo grado.

También, se recomienda estudiar la reducción de la densidad y la viscosidad de la mezcla de los aceites, ya que, ello indica la longevidad del motor de combustible y su rendimiento.

Además, se recomienda estudiar los catalizadores sólidos, ya que, estos podrían producir biodiesel mixto a base de aceite con éxito y al descubrirse que son más rentables con una alta actividad catalítica, un proceso de separación fácil de los productos y condiciones de reacción más suaves, este tipo de catalizadores tienen más potencial desde un punto de vista industrial.

Por último, debido a que todavía hay un problema con el costo de producción a nivel comercial y la estabilidad del biodiesel mixto a base de aceite, es necesario encontrar un reactor adecuado junto con el catalizador sólido competitivo para hacer que el proceso sea más eficiente y reducir el costo total de producción.

REFERENCIAS

1. ABDULLAH, Sharifah Hanis Yasmin Sayid, et al. A review of biomass-derived heterogeneous catalyst for a sustainable biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, vol. 70, p. 1040-1051. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.008>
2. ABDULLAH, Rose Fadzilah, et al. Synthesis of bifunctional nanocatalyst from waste palm kernel shell and its application for biodiesel production. *RSC advances*, 2020, vol. 10, no 45, p. 27183-27193. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/D0RA04306K>
3. ADEPOJU, T. F. Optimization processes of biodiesel production from pig and neem (*Azadirachta indica* a. Juss) seeds blend oil using alternative catalysts from waste biomass. *Industrial crops and products*, 2020, vol. 149, p. 112334. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112334>
4. ADEPOJU, T. F., et al. Methanolysis of CaO based catalyst derived from egg shell-snail shell-wood ash mixed for fatty acid methylester (FAME) synthesis from a ternary mixture of *Irvingia gabonensis*-*Pentaclethra macrophylla*-*Elais guineensis* oil blend: An application of simplex lattice and central composite design optimization. *Fuel*, 2020, vol. 275, p. 117997. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117997>
5. ADEPOJU, T. Fa, et al. Quaternary blend of *Carica papaya*-*Citrus sinensis*-*Hibiscus sabdariffa*-Waste used oil for biodiesel synthesis using CaO-based catalyst derived from binary mix of *Littorina littorea* and *Macra coralline* shell. *Renewable Energy*, 2021, vol. 171, p. 22-33. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.02.020>
6. AGHBASHLO, Mortaza, et al. Fuzzy modeling and optimization of the synthesis of biodiesel from waste cooking oil (WCO) by a low power, high frequency piezo-ultrasonic reactor. *Energy*, 2017, vol. 132, p. 65-78. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.041>

7. ALAM, Md Saiful; TANVEER, Md Sifat. Conversion of biomass into biofuel: a cutting-edge technology. En *Bioreactors*. Elsevier, 2020. p. 55-74. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821264-6.00005-X>
8. ALI, Mehmood, et al. The use of crop residues for biofuel production. En *Biomass, biopolymer-based materials, and bioenergy*. Woodhead Publishing, 2019. p. 369-395. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-8-102426-3.00016-3>
9. ALI, Mohd Affandi Mohd, et al. Biodiesel synthesized from waste cooking oil in a continuous microwave assisted reactor reduced PM and NOx emissions. *Environmental research*, 2020, vol. 185, p. 109452. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109452>
10. AMBAT, Indu, et al. Effect of different co-solvents on biodiesel production from various low-cost feedstocks using Sr–Al double oxides. *Renewable Energy*, 2020, vol. 146, p. 2158-2169. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.061>
11. AMENAGHAWON, Andrew Nosakhare, et al. Optimized biodiesel production from waste cooking oil using a functionalized bio-based heterogeneous catalyst. *Cleaner Engineering and Technology*, 2022, vol. 8, p. 100501. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100501>
12. ATTARI, Arash; ABBASZADEH-MAYVAN, Ahmad; TAGHIZADEH-ALISARAIE, Ahmad. Optimización del proceso de producción de biodiésel asistida por ultrasonidos a partir de aceite de cocina usado utilizando CaO derivado de cáscara de huevo de gallina como catalizador heterogéneo verde. *Biomasa y Bioenergía*, 2022, vol. 158, pág. 106357. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2022.106357>
13. AYOOB, Arqam K.; FADHIL, Abdelrahman B. Biodiesel production through transesterification of a mixture of non-edible oils over lithium supported on activated carbon derived from scrap tires. *Energy Conversion and Management*, 2019, vol. 201, p. 112149. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112149>

14. BANKOVIĆ–ILIĆ, Ivana B., et al. Application of nano CaO–based catalysts in biodiesel synthesis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, vol. 72, p. 746-760. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.076>
15. BARGOLE, Swapnil Sukhadeo, et al. Valorisation of low fatty acid content waste cooking oil into biodiesel through transesterification using a basic heterogeneous calcium-based catalyst. *Biomass and Bioenergy*, 2021, vol. 146, p. 105984. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.105984>
16. BECERRIL-VALLE, M., et al. Characterization of atmospheric black carbon and co-pollutants in urban and rural areas of Spain. *Atmospheric Environment*, 2017, vol. 169, p. 36-53. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.09.014>
17. BI, Ke Xin, et al. Rapid determination of trace homogeneous catalyst in chemical production. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2022, p. 121413. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.saa.2022.121413>
18. BLANCO-DONADO, Erika P., et al. Source identification and global implications of black carbon. *Geoscience Frontiers*, 2022, vol. 13, no 1, p. 101149. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101149>
19. BRAUERS, Hanna; OEI, Pao-Yu. The political economy of coal in Poland: Drivers and barriers for a shift away from fossil fuels. *Energy Policy*, 2020, vol. 144, p. 111621. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111621>
20. CHANTHON, Narita, et al. High-efficiency biodiesel production using rotating tube reactor: New insight of operating parameters on hydrodynamic regime and biodiesel yield. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, vol. 151, p. 111430. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111430>
21. DA SILVA, Juliana Quierati, et al. Light biodiesel from macaúba and palm kernel: properties of their blends with fossil kerosene in the perspective of an

- alternative aviation fuel. *Renewable Energy*, 2020, vol. 151, p. 426-433. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.11.035>
22. DAMANIK, Natalina, et al. Biodiesel production from *Calophyllum inophyllum*– palm mixed oil. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 2017, vol. 39, no 12, p. 1283-1289. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15567036.2017.1324537>
23. DING, Hui, et al. Process intensification of transesterification for biodiesel production from palm oil: Microwave irradiation on transesterification reaction catalyzed by acidic imidazolium ionic liquids. *Energy*, 2018, vol. 144, p. 957-967. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.12.072>
24. DORDI, Truzaar, et al. Ten financial actors can accelerate a transition away from fossil fuels. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 2022, vol. 44, p. 60-78. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eist.2022.05.006>
25. EMSBO-MATTINGLY, Stephen D.; LITMAN, Eric. Polycyclic aromatic hydrocarbon homolog and isomer fingerprinting. En *Standard handbook oil spill environmental forensics*. Academic Press, 2016. p. 255-312. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803832-1.00005-2>
26. ETIM, Anietie O.; MUSONGE, Paul; ELOKA-EBOKA, Andrew C. Effectiveness of biogenic waste-derived heterogeneous catalysts and feedstock hybridization techniques in biodiesel production. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 2020, vol. 14, no 3, p. 620-649. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/bbb.2094>
27. FADHIL, Abdelrahman B.; AL-TIKRITY, Emaad TB; ALBADREE, Mohammed A. Biodiesel production from mixed non-edible oils, castor seed oil and waste fish oil. *Fuel*, 2017, vol. 210, p. 721-728. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.09.009>
28. FADHIL, Abdelrahman B.; NAYYEF, Akram W.; SEDEEQ, Saba H. Valorization of mixed radish seed oil and *Prunus armeniaca* L. oil as a promising feedstock for biodiesel production: evaluation and analysis of

- biodiesels. *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, 2020, vol. 15, no 1, p. e2390. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/apj.2390>
29. FALOWO, Olayomi A.; OLOKO-OBA, Mustafa I.; BETIKU, Eriola. Biodiesel production intensification via microwave irradiation-assisted transesterification of oil blend using nanoparticles from elephant-ear tree pod husk as a base heterogeneous catalyst. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 2019, vol. 140, p. 157-170. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cep.2019.04.010>
30. FALOWO, Olayomi Abiodun, et al. Influence of nature of catalyst on biodiesel synthesis via irradiation-aided transesterification of waste cooking oil-honne seed oil blend: Modeling and optimization by Taguchi design method. *Energy Conversion and Management: X*, 2021, vol. 12, p. 100119. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2021.100119>
31. GARCÍA-MARTÍN, Juan Francisco, et al. Biodiesel production from waste cooking oil in an oscillatory flow reactor. Performance as a fuel on a TDI diesel engine. *Renewable Energy*, 2018, vol. 125, p. 546-556. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.002>
32. GOH, Brandon Han Hoe, et al. Ultrasonic assisted oil extraction and biodiesel synthesis of Spent Coffee Ground. *Fuel*, 2020, vol. 261, p. 116121. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116121>
33. GONG, Haitao, et al. A new reactor for enzymatic synthesis of biodiesel from waste cooking oil: A static-mixed reactor pilot study. *Renewable Energy*, 2020, vol. 154, p. 270-277. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.02.086>
34. HAPOŃSKA, Monika, et al. Membrane reactors for biodiesel production with strontium oxide as a heterogeneous catalyst. *Fuel Processing Technology*, 2019, vol. 185, p. 1-7. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2018.11.010>

35. HASSAN, Mahmood M.; FADHIL, Abdelrahamn B. Development of an effective solid base catalyst from potassium based chicken bone (K-CBs) composite for biodiesel production from a mixture of non-edible feedstocks. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 2021, p. 1-16. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15567036.2021.1927253>
36. HIELSCHER, Sabine; WITTMAYER, Julia M.; DAŃKOWSKA, Alicja. Social movements in energy transitions: The politics of fossil fuel energy pathways in the United Kingdom, the Netherlands and Poland. *The Extractive Industries and Society*, 2022, vol. 10, p. 101073. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.exis.2022.101073>
37. HSIAO, Ming-Chien, et al. Enhancement of biodiesel production from high-acid-value waste cooking oil via a microwave reactor using a homogeneous alkaline catalyst. *Energies*, 2021, vol. 14, no 2, p. 437. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/en14020437>
38. IBRAHIM, Naeemah A., et al. Biodiesel production from waste cooking oil using magnetic bifunctional calcium and iron oxide nanocatalysts derived from empty fruit bunch. *Fuel*, 2022, vol. 317, p. 123525. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123525>
39. JAVED, Fahed, et al. Conversion of poultry-fat waste to a sustainable feedstock for biodiesel production via microbubble injection of reagent vapor. *Journal of Cleaner Production*, 2021, vol. 311, p. 127525. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127525>
40. JAZIE, Ali A., et al. Continuous biodiesel production in a packed bed reactor from microalgae *Chlorella* sp. using DBSA catalyst. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 2020, vol. 23, no 3, p. 642-649. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2019.08.002>
41. JINDAPON, Wayu, et al. Production of biodiesel over waste seashell-derived active and stable extrudate catalysts in a fixed-bed reactor. *Environmental*

- Technology & Innovation, 2020, vol. 20, p. 101051. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101051>
42. KEFAS, Haruna Mavakumba, et al. Enhanced biodiesel synthesis from palm fatty acid distillate and modified sulfonated glucose catalyst via an oscillation flow reactor system. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2019, vol. 7, no 2, p. 102993. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.102993>
43. KUMAR, Dilip, et al. Biodiesel production from hybrid non-edible oil using bio-support beads immobilized with lipase from *Pseudomonas cepacia*. *Fuel*, 2019, vol. 255, p. 115801. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.115801>
44. KUSUMO, Fitranto, et al. Optimisation of biodiesel production from mixed *Sterculia foetida* and rice bran oil. *International Journal of Ambient Energy*, 2021, p. 1-11. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/01430750.2021.1888802>
45. LAWAN, Ibrahim, et al. Synergies between the microwave reactor and CaO/zeolite catalyst in waste lard biodiesel production. *Renewable Energy*, 2020, vol. 145, p. 2550-2560. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.008>
46. LAZIZ, Afiq Mohd, et al. Rapid production of biodiesel in a microchannel reactor at room temperature by enhancement of mixing behaviour in methanol phase using volume of fluid model. *Chemical Engineering Science*, 2020, vol. 219, p. 115532. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.115532>
47. LEDEZMA-MARTÍNEZ, Minerva; JOBSON, Megan; SMITH, Robin. Simulation-optimisation-based Design of Crude Oil Distillation Systems with Preflash Units. En *Computer Aided Chemical Engineering*. Elsevier, 2017. p. 823-828. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63965-3.50139-2>

48. LUTOSŁAWSKI, Krzysztof; CIBIS, Edmund; KRZYWONOS, Małgorzata. effect of temperature on the efficiency of aerobic biodegradation of sugar beet distillery stillage: Removal of pollution load and biogens. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 2017, vol. 34, p. 985-996. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/0104-6632.20170344s20160417>
49. MAHER, Carmel, et al. Ensuring rigor in qualitative data analysis: A design research approach to coding combining NVivo with traditional material methods. *International journal of qualitative methods*, 2018, vol. 17, no 1, p. 1609406918786362. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/1609406918786362>
50. MALANI, Ritesh S., et al. Ultrasound–assisted biodiesel production using heterogeneous base catalyst and mixed non–edible oils. *Ultrasonics sonochemistry*, 2019, vol. 52, p. 232-243. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.11.021>
51. MALANI, Ritesh S.; CHOUDHURY, Hanif A.; MOHOLKAR, Vijayanand S. Waste biorefinery based on waste carbon sources: case study of biodiesel production using carbon based catalysts and mixed feedstocks of nonedible and waste oils. *Waste Biorefinery*, 2020, p. 337-378. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818228-4.00013-7>
52. MALANI, Ritesh S., et al. Ultrasound–assisted biodiesel production using heterogeneous base catalyst and mixed non–edible oils. *Ultrasonics sonochemistry*, 2019, vol. 52, p. 232-243. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.11.021>
53. MARTIN-POZAS, Tamara, et al. Role of subterranean microbiota in the carbon cycle and greenhouse gas dynamics. *Science of the Total Environment*, 2022, vol. 831, p. 154921. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154921>
54. MAZAHERI, Hooraa, et al. An overview of biodiesel production via calcium oxide based catalysts: Current state and perspective. *Energies*, 2021, vol. 14, no 13, p. 3950. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/en14133950>

55. MILANO, Jassinnee, et al. Optimization of biodiesel production by microwave irradiation-assisted transesterification for waste cooking oil-Calophyllum inophyllum oil via response surface methodology. *Energy conversion and management*, 2018, vol. 158, p. 400-415. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.12.027>
56. MILANO, Jassinnee, et al. Physicochemical property enhancement of biodiesel synthesis from hybrid feedstocks of waste cooking vegetable oil and Beauty leaf oil through optimized alkaline-catalysed transesterification. *Waste Management*, 2018, vol. 80, p. 435-449. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.09.005>
57. MIRIAM, LR Monisha, et al. Algal oil extraction-cum-biodiesel conversion in a novel batch reactor and its compatibility analysis in IC engine at various CRs. *Fuel*, 2021, vol. 293, p. 120449. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120449>
58. MOHADESI, Majid; GOURAN, Ashkan; DEHNAVI, Amir Dehghan. Biodiesel production using low cost material as high effective catalyst in a microreactor. *Energy*, 2021, vol. 219, p. 119671. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119671>
59. Muhammad Asif Hanif, Farwa Nadeem, Rida Tariq, Umer Rashid. Chapter 1 - Energy resources and utilization. *Renewable and Alternative Energy Resources*, 2022, Pages 1-30. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818150-8.00011-3>
60. MUJTABA, M. A., et al. Ultrasound-assisted process optimization and tribological characteristics of biodiesel from palm-sesame oil via response surface methodology and extreme learning machine-Cuckoo search. *Renewable Energy*, 2020, vol. 158, p. 202-214. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.05.158>
61. MUKHERJEE, Anwasha, et al. Enzymatic and microbial biofuel cells: current developments and future directions. *En Handbook of Biofuels*. Academic

Press, 2022. p. 551-576. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822810-4.00029-4>

62. MURILLO, Gabriel, et al. Ultrasonic emulsification assisted immobilized Burkholderia cepacia lipase catalyzed transesterification of soybean oil for biodiesel production in a novel reactor design. Renewable Energy, 2019, vol. 135, p. 1025-1034. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.12.080>
63. NAGAPPAN, M., et al. Impact of additives on Combustion, performance and exhaust emission of biodiesel fueled direct injection diesel engine. Materials Today: Proceedings, 2022. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.114>
64. NATH, Biswajit, et al. Waste to value addition: Utilization of waste Brassica nigra plant derived novel green heterogeneous base catalyst for effective synthesis of biodiesel. Journal of Cleaner Production, 2019, vol. 239, p. 118112. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118112>
65. NAYLOR, Rosamond L.; HIGGINS, Matthew M. The political economy of biodiesel in an era of low oil prices. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017, vol. 77, p. 695-705. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.026>
66. NIJU, Subramaniapillai; VISHNUPRIYA, Govindaraj; BALAJII, Muthusamy. Process optimization of Calophyllum inophyllum-waste cooking oil mixture for biodiesel production using Donax deltoides shells as heterogeneous catalyst. Sustainable Environment Research, 2019, vol. 29, no 1, p. 1-12. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s42834-019-0015-6>
67. NINGARAJU, C., et al. Simultaneous refining of biodiesel-derived crude glycerol and synthesis of value-added powdered catalysts for biodiesel production: A green chemistry approach for sustainable biodiesel industries. Journal of Cleaner Production, 2022, p. 132448. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132448>

68. OLATUNDUN, Esther Adedayo; BOROKINI, Omowumi Oluwatumininu; BETIKU, Eriola. Cocoa pod husk-plantain peel blend as a novel green heterogeneous catalyst for renewable and sustainable honne oil biodiesel synthesis: A case of biowastes-to-wealth. *Renewable Energy*, 2020, vol. 166, p. 163-175. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.11.131>
69. ONG, Hwai Chyuan, et al. Biodiesel production from *Calophyllum inophyllum*-*Ceiba pentandra* oil mixture: Optimization and characterization. *Journal of Cleaner Production*, 2019, vol. 219, p. 183-198. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.048>
70. PANGGABEAN, S., et al. The study of temperature variation in catalytic biodiesel production process using static mixing reactor. En IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. p. 022065. Disponible en: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/782/2/022065>
71. PATIL, Abhijeet Dilip; BARAL, Saroj Sundar. Process intensification of thumba methyl ester (Biodiesel) production using hydrodynamic cavitation. *Chemical Engineering Research and Design*, 2021, vol. 171, p. 277-292. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2021.05.007>
72. PATIL, Abhijeet D., et al. Cleaner production of catalytic thumba methyl ester (Biodiesel) from thumba seed oil (*Citrullus Colocytis*) using TiO₂ nanoparticles under intensified hydrodynamic cavitation. *Fuel*, 2022, vol. 313, p. 123021. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.123021>
73. PELLEGRINI, Lorenzo, et al. Institutional mechanisms to keep unburnable fossil fuel reserves in the soil. *Energy Policy*, 2021, vol. 149, p. 112029. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.112029>
74. PHROMPHITHAK, Sanphawat, et al. Transesterification of palm oil into biodiesel using ChOH ionic liquid in a microwave heated continuous flow reactor. *Renewable Energy*, 2020, vol. 154, p. 925-936. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.03.080>

75. PRADHAN, Subhalaxmi, et al. Synthesis of potassium glyceroxide catalyst for sustainable green fuel (biodiesel) production. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2017, vol. 46, p. 266-272. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2016.10.038>
76. RAHMAN, S. M. A., et al. A ranking scheme for biodiesel underpinned by critical physicochemical properties. *Energy Conversion and Management*, 2021, vol. 229, p. 113742. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113742>
77. RESHAD, Ali Shemsedin; TIWARI, Pankaj; GOUD, Vaibhav V. Extraction of oil from rubber seeds for biodiesel application: Optimization of parameters. *Fuel*, 2015, vol. 150, p. 636-644. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.02.058>
78. REZANIA, Shahabaldin, et al. Review on transesterification of non-edible sources for biodiesel production with a focus on economic aspects, fuel properties and by-product applications. *Energy Conversion and Management*, 2019, vol. 201, p. 112155. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112155>
79. SAMANI, Bahram Hosseinzdeh, et al. The rotor-stator type hydrodynamic cavitation reactor approach for enhanced biodiesel fuel production. *Fuel*, 2021, vol. 283, p. 118821. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118821>
80. SINGH, Digambar, et al. A comprehensive review of biodiesel production from waste cooking oil and its use as fuel in compression ignition engines: 3rd generation cleaner feedstock. *Journal of Cleaner Production*, 2021, vol. 307, p. 127299. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127299>
81. SIVARETHINAMOHAN, Sujatha, et al. Towards sustainable biodiesel production by solar intensification of waste cooking oil and engine parameter assessment studies. *Science of The Total Environment*, 2022, vol. 804, p. 150236. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150236>


82. SORIA-FIGUEROA, Erick, et al. Statistical optimization of biodiesel production from waste cooking oil using CaO as catalyst in a Robinson-Mahoney type reactor. *Fuel*, 2020, vol. 282, p. 118853. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118853>
83. TANG, Zo-Ee, et al. Synthesis of biomass as heterogeneous catalyst for application in biodiesel production: State of the art and fundamental review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, vol. 92, p. 235-253. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.056>
84. THAKKAR, Kartikkumar; KACHHWAHA, Surendra Singh; KODGIRE, Pravin. Multi-response optimization of transesterification reaction for biodiesel production from castor oil assisted by hydrodynamic cavitation. *Fuel*, 2022, vol. 308, p. 121907. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121907>
85. THAKUR, P. 1-Underground coal mine atmosphere. *Advanced mine ventilation*. Woodhead Publishing, 2019, p. 3-16. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100457-9.00001-8>
86. THUSHARI, Indika; BABEL, Sandhya; SAMART, Chanatip. Biodiesel production in an autoclave reactor using waste palm oil and coconut coir husk derived catalyst. *Renewable energy*, 2019, vol. 134, p. 125-134. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.11.030>
87. TOPARE, Niraj S.; PATIL, Kiran D. Biodiesel from waste cooking soybean oil under ultrasonication as an alternative fuel for diesel engine. *Materials Today: Proceedings*, 2021, vol. 43, p. 510-513. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.025>
88. VARGAS, Edgar M., et al. Optimization of FAME production from blends of waste cooking oil and refined palm oil using biomass fly ash as a catalyst. *Renewable Energy*, 2021, vol. 163, p. 1637-1647. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.10.030>

89. VINAYAKA, A. Sankar, et al. Biodiesel production by transesterification of a mixture of pongamia and neem oils. *Biofuels*, 2018. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/17597269.2018.1464874>
90. VOHRA, Karn, et al. Global mortality from outdoor fine particle pollution generated by fossil fuel combustion: Results from GEOS-Chem. *Environmental Research*, 2021, vol. 195, p. 110754. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110754>
91. WANCURA, João HC, et al. Soluble lipase-catalyzed synthesis of methyl esters using a blend of edible and nonedible raw materials. *Bioprocess and biosystems engineering*, 2018, vol. 41, no 8, p. 1185-1193. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00449-018-1947-7>
92. WILLERTH, Stephanie M. 1.12 Electrospun Nanofibers for Diverse Applications. *Comprehensive Nanoscience and Nanotechnology*, 2019, p. 275. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=zZxjDwAAQBAJ&lpg=PA275&ots=d4vsFhU3tZ&dq=1.12%20Fossil%20Fuels&lr&hl=es&pg=PA275#v=onepage&q=1.12%20Fossil%20Fuels&f=false>
93. YAHYA, Noor Yahida, et al. Transesterification of used cooking oil (UCO) catalyzed by mesoporous calcium titanate: Kinetic and thermodynamic studies. *Energy Conversion and Management*, 2018, vol. 164, p. 210-218. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.03.011>
94. YAMAN, Cevat; ANIL, Ismail; ALAGHA, Omar. Potential for greenhouse gas reduction and energy recovery from MSW through different waste management technologies. *Journal of Cleaner Production*, 2020, vol. 264, p. 121432. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121432>
95. ZHANG, Yiming, et al. Variations in wetland hydrology drive rapid changes in the microbial community, carbon metabolic activity, and greenhouse gas fluxes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2022, vol. 317, p. 269-285. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.gca.2021.11.014>

96. ZHAO, Che, et al. Biodiesel production by a highly effective renewable catalyst from pyrolytic rice husk. *Journal of cleaner production*, 2018, vol. 199, p. 772-780. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.242>
97. ZIK, N. A. F. A.; SULAIMAN, S.; JAMAL, P. Biodiesel production from waste cooking oil using calcium oxide/nanocrystal cellulose/polyvinyl alcohol catalyst in a packed bed reactor. *Renewable Energy*, 2020, vol. 155, p. 267-277. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.03.144>
98. ZULLAIKAH, Siti, et al. Ecofuel conversion technology of inedible lipid feedstocks to renewable fuel. En *Advances in Eco-Fuels for a Sustainable Environment*. Woodhead Publishing, 2019. p. 237-276. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102728-8.00009-7>

ANEXO

Anexo 1: Instrumento de recolección de datos

 Universidad César Vallejo	FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO	
TITULO:		
DATOS DEL AUTOR: NOMBRE(S)		
PAGINAS UTILIZADAS	AÑO DE PUBLICACION	LUGAR DE PUBLICACION
TIPO DE INVESTIGACION:		
CÓDIGO:		
PALABRAS CLAVES:		
MATERIAS PRIMAS DE ACEITES MIXTOS:		
TIPOS DE CATALIZADORES		
RENDIMIENTO DE LOS CATALIZADORES:		
RESULTADOS:		
CONCLUSIONES:		



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, UGARTE ALVAN CARLOS ALFREDO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, asesor de Tesis titulada: "Producción de Biodiesel Mediante Aceites Mixtos y Uso de Catalizadores: Revisión Sistemática", cuyos autores son VARGAS ZEGARRA LAURA MILENA, PUMA MAMANI JOSEPH GOYO, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 12.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

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

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

LIMA, 15 de Noviembre del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
UGARTE ALVAN CARLOS ALFREDO DNI: 10473562 ORCID: 0000-0001-6017-1192	Firmado electrónicamente por: CUGARTEA el 30-11- 2022 07:51:50

Código documento Trilce: TRI - 0441219