

ISBN (Versión digital): 978-628-95471-3-9

DOI: 10.58690/Ciidies.CTi_ID.v4.00.1-241

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Volumen IV

Colección: Ciencia, Tecnología e Innovación

Compiladores:

Ubeimar Aurelio Osorio Atehortúa

Mónica Eliana Aristizábal Velásquez



Compilación de capítulos
resultado de investigación

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Volumen IV

Colección: Ciencia, Tecnología e Innovación

Compiladores:

Ubeimar Aurelio Osorio Atehortúa

Mónica Eliana Aristizábal Velásquez

Compilación de capítulos
resultado de investigación



Corporación Internacional de Investigación y Desarrollo
en Innovación, Emprendedurismo y Sostenibilidad

Este libro de compilación de capítulos resultado de investigación se compone en su totalidad por capítulos que son producto de investigaciones finalizadas, desarrolladas por sus respectivos autores. Los capítulos incluidos fueron arbitrados bajo el sistema doble ciego por expertos externos en el área, bajo la supervisión del Grupo de Investigación Ciidies, Colombia. Los planteamientos y argumentaciones presentadas en los capítulos del libro Investigación y Desarrollo vol. IV, de la Colección Ciencia, Tecnología e Innovación, son responsabilidad única y exclusiva de sus autores, por lo tanto, los compiladores, la Corporación Internacional de Investigación y Desarrollo en Innovación, Emprendedurismo y Sostenibilidad CIIDIES, las redes, grupos de investigación e instituciones que respaldan la obra actúan como un tercero de buena fe.

© Corporación Internacional de Investigación y Desarrollo en Innovación, Emprendedurismo y Sostenibilidad CIIDIES. Calle 7 N°80 75 Int. 2603.

Medellín, Antioquia, Colombia. Tel: (57) 300 400 27 28

www.ciidies.org - fondoeditorial@ciidies.org

Colección: Ciencia, Tecnología e Innovación.

ISBN (Versión digital): 978-628-95471-3-9

DOI: https://doi.org/10.58690/Ciidies.CTi_ID.v4.00.1-241

Depósito Legal: Realizado el Depósito Legal Digital ante la Biblioteca Nacional de Colombia, Código:

Fecha de edición: 02/07/2024

Compiladores:

Ubeimar Aurelio Osorio Atehortúa
Mónica Eliana Aristizábal Velásquez

Autores:

Darío José Doria Durango
Jennifer Lafont Mendoza
Amelia Espitia Arrieta
Kathya Jemio Arnez
Doris Elena Salazar Hernández
José de Jesús Herrera Ospina
María Elena Dávila Díaz
Angie Marlene Garvich Ormeño
Carlos Gerardo Enríquez Ordóñez
Nubia del Rosario González Martínez
Denia Padilla Izquierdo

Alvaro Hugo Gómez Rosero
Lida María Torres Arteaga
Ubeimar Aurelio Osorio Atehortúa
Mónica Eliana Aristizábal Velásquez
María Teresa Cala Díaz
Leidy Carolina Bueno Rivera

Corrección de Estilo:
Fondo Editorial Ciidies

Directores de la colección:
Ubeimar Aurelio Osorio Atehortúa
Mónica Eliana Aristizábal Velásquez

Diagramación, diseño y edición:
Fondo Editorial Ciidies

Jefe Fondo Editorial:
Mauricio Alejandro Bedoya Jiménez

Evaluación de contenido:
Esta obra ha sido aprobada por el Consejo Editorial del Fondo Editorial Ciidies y editada bajo procedimientos que garantizan su normalización.

Hecho en Colombia / Made in Colombia

Publicación financiada en su totalidad por la Corporación Internacional de Investigación y Desarrollo en Innovación, Emprendedurismo y Sostenibilidad - CIIDIES.

La convocatoria para esta compilación fue apoyada por la Red Internacional de Innovación, Solidaridad y Sostenibilidad - RIISS y el Grupo de Investigación Ciidies.

Los autores son moral y legalmente responsables de la información expresada en este libro, así como del respeto a los derechos de autor; por lo tanto, no comprometen en ningún sentido a la Corporación Internacional de Investigación y Desarrollo en Innovación, Emprendedurismo y Sostenibilidad – CIIDIES.

Declaración conflictos de interés: los autores de esta publicación declaran la inexistencia de conflictos de interés de cualquier índole con instituciones o asociaciones comerciales.

CATALOGACIÓN DE LA FUENTE

Catalogación en la publicación – Biblioteca Nacional de Colombia

Doria Durango, Darío José, autor

Investigación y desarrollo. Vol. IV / autores, Darío José Doria Durango [y otros dieciséis]; compiladores, Ubeimar Aurelio Osorio Atehortúa, Mónica Eliana Aristizábal Velásquez. -- [Colombia]: Ciidies, 2024.

1 recurso en línea: archivo de texto: PDF. -- (Ciencia, tecnología e innovación)

Incluye referencias bibliográficas al final de cada capítulo.

ISBN 978-628-95471-3-9 (digital)

1. Investigación científica 2. Educación superior - Investigaciones 3. Innovación social - Investigaciones I. Osorio Atehortúa, Ubeimar Aurelio, autor, compilador II. Aristizábal Velásquez, Mónica Eliana, autora, compiladora III. Lafont Mendoza, Jennifer, autora IV. Espitia Arrieta, Amelia, autora V. Jemio Arnez, Kathya, autora VI. Salazar Hernández, Doris Elena, autora VII. Herrera Ospina, José de Jesús, autor VIII. Dávila Díaz, María Elena, autora IX. Garvich Ormeño, Angie Marlene, autora

CDD: 001.4 ed. 23

CO-BoBN- 00394

Disponible en:

<https://www.ciidies.org/publicaciones/>

<https://www.riiss-global.org/biblioteca-virtual/>

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=979859>

https://scholar.google.com/citations?hl=es&user=b_bSSDsAAAAJ&view_op=list_works&authuser=3

Página Legal, identifica la propiedad intelectual de la obra, esto es: derechos patrimoniales, morales, licencias y responsabilidades. Las publicaciones del Fondo Editorial están protegidas por las leyes de derechos de autor (*copyright*, en su denominación anglosajona) y por los términos y condiciones de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional; los permisos que van más allá de lo cubierto por esta licencia deben solicitarse a la Corporación Internacional de Investigación y Desarrollo en Innovación, Emprendedurismo y Sostenibilidad - CIIDIES.



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO I - COMPOSICIÓN QUÍMICA Y CALIDAD NUTRICIONAL DEL FRUTO, SEMILLA Y ACEITE DE SAMANEA SAMAN	9
CAPÍTULO II - METÁFORAS DE LA PANDEMIA COVID 19: "APRENDER SOBRE LA MARCHA" Y OTRAS	37
CAPÍTULO III - POSIBILIDADES Y LIMITACIONES PARA GENERAR AMBIENTES AFECTIVOS E INCLUSIVOS EN LA EDUCACIÓN SUPERIOR	70
CAPÍTULO IV - ANÁLISIS DEL POTENCIAL TURÍSTICO DE LOS MUNICIPIOS DE CUMBAL, CARLOSAMA, PUERRES Y FUNES EN EL DEPARTAMENTO DE NARIÑO	91
CAPÍTULO V - BIODIÉSEL: UNA OPCIÓN DE ENERGÍA LIMPIA EN CONCORDANCIA CON EL SÉPTIMO OBJETIVO DE DESARROLLO SOSTENIBLE	122
CAPÍTULO VI - UNA APROXIMACIÓN A LAS INTERACCIONES INTERRUMPIDAS POR LA PANDEMIA DEL COVID-19	157
CAPÍTULO VII - RUTAS DE ATENCIÓN A POBLACIÓN MIGRANTE VENEZOLANA, EN LAS FRONTERAS DE ECUADOR, PERÚ Y COLOMBIA ..	187
CAPÍTULO VIII - INICIATIVAS DE INNOVACIÓN SOCIAL EN UNA UNIVERSIDAD COLOMBIANA	203
CAPÍTULO XI - TENDENCIAS DE LAS PROFESIONES DEL ÁREA ECONÓMICO-ADMINISTRATIVA EN UNISANGIL	224

INTRODUCCIÓN

Como compiladores de obras científicas, nos complace presentar el volumen 4 de la colección Ciencia, Tecnología e Innovación del Fondo Editorial CIIDIES. Este libro, titulado Investigación y Desarrollo, constituye un testimonio del trabajo interdisciplinario y en red realizado por la Corporación Internacional CIIDIES y la Red RIISS en el marco del Congreso Internacional "Educación Superior para la Sostenibilidad", celebrado en Medellín, Colombia, en 2024.

La presente compilación recoge los resultados de investigaciones concluidas a nivel nacional e internacional, estructuradas en cuatro ejes temáticos: Educación Superior para el Bienestar, para el Desarrollo, para la Coexistencia y para la Cohesión. Estos aportes abordan de manera integral temas clave como la educación superior, la innovación social y su articulación con diversas áreas del conocimiento. Además, destacan las estrategias implementadas por las instituciones de educación superior para fomentar el bienestar, el desarrollo, la coexistencia y la cohesión, tanto desde una perspectiva académica como social.

El volumen está compuesto por nueve capítulos que exploran una amplia gama de temas relacionados con la investigación, el desarrollo y la innovación, todos ellos con un enfoque en la educación superior. En el primer capítulo, titulado Composición química y calidad nutricional del fruto, semilla y aceite de *Samanea saman*, se analiza la potencialidad de esta especie en términos de su valor nutricional y aplicaciones prácticas. El capítulo 2, Metáforas de la pandemia Covid-19: "aprender sobre la marcha" y otras, examina el uso de metáforas como herramientas cognitivas para comprender las experiencias de la pandemia.

El tercer capítulo, Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos, presenta el trabajo de la Red RIESC CADEP ACACIA, que opera en Colombia, Chile, Nicaragua y Perú, con propuestas innovadoras para atender a poblaciones vulnerables. Por su parte, el capítulo 4, Análisis del potencial turístico de los municipios de Cumbal, Carlosama, Puerres y Funes en el departamento de Nariño, evalúa los recursos turísticos y las capacidades de desarrollo en esta región de Colombia.

En el quinto capítulo, Biodiésel: una opción de energía limpia en concordancia con el séptimo objetivo de desarrollo sostenible, se analiza la producción de biodiésel mediante transesterificación, en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. El capítulo 6, Una aproximación a las interacciones interrumpidas por la pandemia del Covid-19, profundiza en las dinámicas de colaboración mediadas por la tecnología durante la crisis sanitaria.

El capítulo 7, Rutas de atención a población migrante venezolana en las fronteras de Ecuador, Perú y Colombia, aborda los esquemas de regulación y las estrategias de atención a migrantes en estos países. En el capítulo 8, Innovación social, componente orgánico en la Universidad Católica Luis Amigó, se presentan los avances en proyectos de innovación social desarrollados desde 2017 por esta universidad. Finalmente, el capítulo 9, Tendencias de las profesiones del área económico-administrativa en UNISANGIL, explora los cambios y proyecciones en este campo profesional.

En conjunto, los capítulos ofrecen una visión actualizada de los desafíos y oportunidades que enfrenta la educación superior en su relación con la investigación y la innovación. Las contribuciones de los autores, provenientes de diversas universidades e instituciones de investigación de América Latina, enriquecen el debate sobre estos temas cruciales para el desarrollo educativo y social.

Este libro está dirigido a investigadores, docentes, estudiantes y profesionales interesados en mantenerse al día con los últimos avances en el ámbito de la educación superior, la investigación y la innovación. Sus contenidos constituyen un valioso aporte al conocimiento científico y una fuente de inspiración para futuras investigaciones. Estamos seguros de que esta obra será una herramienta indispensable para aquellos comprometidos con el progreso académico y social.

CAPÍTULO V

BIODIÉSEL: UNA OPCIÓN DE ENERGÍA LIMPIA EN CONCORDANCIA CON EL SÉPTIMO OBJETIVO DE DESARROLLO SOSTENIBLE

BIODIESEL: A CLEAN ENERGY OPTION IN ACCORDANCE WITH THE SEVENTH SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOAL

Amelia Espitia Arrieta

Magíster en Ciencias Químicas, Docente catedrática Universidad de Córdoba.
ORCID 0000-0002-3397-6662. ameliaespitia@correo.unicordoba.edu.co

Jennifer Lafont Mendoza

Doctora en Ciencias Mención Gerencia, Docente Titular de Tiempo Completo Universidad
de Córdoba, ORCID 0000-0001-8862-2442. jenniferlafont@correo.unicordoba.edu.co

Denia Padilla Izquierdo

Magíster en Biotecnología, Docente catedrática, Universidad de Córdoba.
ORCID 0000-0002-9895-4165. deniapadilla@correo.unicordoba.edu.co

RESUMEN

La principal fuente de energía para la humanidad son los combustibles no renovables, estos ocasionan un grave impacto ambiental viéndose reflejado en el calentamiento global, estimulando la transición hacia energías limpias, renovables y asequibles, siendo una opción el biodiésel. El objetivo de esta investigación fue analizar el biodiésel obtenido mediante la

reacción de transesterificación, lográndose energía no contaminante, dando cumplimiento al séptimo objetivo de desarrollo sostenible. La metodología aplicada tuvo un enfoque cualitativo, de tipo descriptivo y diseño documental. Se encontró que las materias primas para la producción de biodiesel clasificadas en tres generaciones, varían en disponibilidad y pertinencia. En las reacciones de producción de biodiesel, se emplean catalizadores homogéneos, heterogéneos y enzimáticos, de los cuales el homogéneo genera mayor impacto ambiental y los enzimáticos altos costos de operación; en la producción no catalítica se emplean fluidos supercríticos, produciendo reacciones más rápidas, pero con menor tiempo de vida útil.

PALABRAS CLAVE: Biodiesel, Energía limpia, Desarrollo sostenible, Transesterificación, Catalizadores.

ABSTRACT

The main source of energy for humanity is non-renewable fuels, these cause a serious environmental impact, reflected in global warming, stimulating the transition towards clean, renewable and affordable energy, with biodiesel being an option. The objective of this research was to analyze the biodiesel obtained through the transesterification reaction, achieving non-polluting energy, complying with the seventh sustainable development goal. The applied methodology had a qualitative approach, descriptive and documentary design. It was found that raw materials for biodiesel production, classified into three generations, vary in availability and relevance. In the biodiesel production reactions, homogeneous, heterogeneous and enzymatic catalysts are used, of which the homogeneous one generates greater environmental impact and the enzymatic ones have high operating costs; In non-catalytic production, supercritical fluids are used, producing faster reactions, but with a shorter useful life.

KEYWORDS: Biodiesel, Clean energy, Sustainable development, Transesterification, Catalysts.

1. INTRODUCCIÓN

Con el tiempo, en los países del mundo han surgido problemáticas económicas, sociales y ambientales atribuidas a diversos factores: 1) el uso excesivo de productos derivados de recursos no renovables, como el petróleo, que causan contaminación ambiental; 2) un modelo económico no cíclico basado en la extracción industrial de recursos naturales, seguido de su transformación, distribución, consumo y eliminación, generando grandes cantidades de residuos dañinos para el ambiente; 3) la sobrepoblación mundial, que provoca escasez de productos básicos como alimentos, agua y energía; y 4) una profunda brecha social en la implementación de políticas económicas, que beneficia a las personas adineradas y margina a los pobres (Solarte y Cardona, 2021).

Todo lo anterior, ha contribuido, al deterioro del ambiente y de la población humana, razón por la cual la Organización de las Naciones Unidas (ONU), en el año 2015 instauró 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), estos objetivos “son el modelo para lograr un futuro mejor y más sostenible para todos, abordan los desafíos globales que enfrenta la humanidad, incluida la pobreza, la desigualdad, el cambio climático, la degradación ambiental, la paz y la justicia” (Nations United, 2015), los cuáles deberían alcanzarse para el año 2030 y está claro que trabajar en pro de su cumplimiento, aunque no es una tarea fácil, permitirá tener el beneficio de una vida saludable y un ambiente limpio y seguro (Madurai et al., 2022).

A raíz de esto, el uso de energías alternativas se ha incrementado de manera notable en las últimas décadas en todo el mundo, haciendo inevitable la necesidad de minimizar la dependencia de combustibles fósiles, para neutralizar de manera significativa los efectos que trae consigo su uso desmedido y realizar una transición hacia la utilización de estas energías renovables, la cual será clave para alcanzar el objetivo de desarrollo sostenible 7, que consiste en garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos

(Madurai et al., 2022). Dentro de estas energías alternativas se encuentra el biodiesel, que, debido a su naturaleza de carácter ecológico, reciclable, biodegradable, bajo en azufre, con alto número de cetano y alto punto de inflamación es utilizado como combustible de combustión limpia ya que reduce las emisiones de CO y SO_x al ambiente; además es accesible a la comunidad, con bajo costo y su uso en los automotores garantiza un ambiente sano (ODS 7) (Changmai et al., 2020).

En este sentido, la producción y uso del biodiésel como combustible contribuyen significativamente a la reducción de gases de efecto invernadero y al calentamiento global, mejorando el clima y las condiciones de vida de la población (ODS 13). Este biocombustible puede obtenerse a partir de diversas materias primas, que dependiendo su fuente se clasifican en tres generaciones: la primera generación proviene de aceites comestibles, la segunda generación de aceites de fuentes no comestibles y aceites de cocina usados, y la tercera generación del aceite de algas y microalgas (Chozhavendhan et al., 2020).

Asimismo, para convertir el aceite tanto comestible como no comestible en biodiesel; existen las alternativas de emulsificación, dilución, pirólisis y transesterificación, siendo esta última la más utilizada por su viabilidad al ser comparada con los demás métodos. La reacción de transesterificación se puede realizar tanto de forma catalítica (utilizando catalizadores, homogéneos, heterogéneos y enzimáticos), como de forma no catalítica a través de fluidos supercríticos (Nayab et al., 2022). Es importante mencionar que el desarrollo del biodiesel en cada país está condicionado a su mercado, su capacidad de producción y /o importación de materias primas, desarrollo tecnológico, al igual que de sus políticas de incentivos las cuales les permiten responder con los requerimientos regionales y cambios en el mercado (De Souza et al., 2022).

Para efectos de esta investigación el objetivo fue analizar el biodiésel obtenido a partir de materias primas de las tres generaciones mediante la reacción de transesterificación, como factor determinante para obtener energía no contaminante, dando cumplimiento al séptimo

objetivo de desarrollo sostenible, teniendo en cuenta el rendimiento de la reacción, disponibilidad y pertinencia de la materia prima, así como el impacto al ambiente.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Gestación de los objetivos de desarrollo sostenible

Sin duda, el consumismo y la sobreproducción en los sectores público y privado han impactado negativamente las áreas de desarrollo sostenible a nivel mundial. Estudios recientes muestran que las ciudades, especialmente las metrópolis, generan entre el 60% y el 80% de las emisiones de gases de efecto invernadero, utilizan aproximadamente el 75% de los recursos naturales y producen alrededor del 50% de los residuos globales (Parra, 2018). Ante esta preocupante situación, el concepto de sostenibilidad ha cobrado gran importancia y ha sido ampliamente debatido por los responsables de formular políticas, así como por la comunidad científica y otros expertos; se pretende hacer del mundo un lugar más sostenible, para lo cual casi todas las agendas políticas han establecido diversos objetivos y metas (Halkos y Gkampoura, 2021).

En el año 2015 la Asamblea General de las Naciones Unidas aprobó la denominada agenda de 2030 sobre el Desarrollo Sostenible, concepto definido en una publicación realizada por las Naciones Unidas titulada “Nuestro Futuro Común” así: *“el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”* (Nations United, 2015). En esta asamblea fueron propuestos 17 Objetivos de desarrollo Sostenible (ODS), los cuales se encuentran relacionados entre sí y con su ejecución se busca enfrentar la problemática que tiene el planeta tierra, fue aprobada en septiembre de 2015, tras la firma de 193 jefes de Estado y de Gobiernos mundiales (Nylund et al., 2022).

A continuación, se muestran los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible: 1. Fin de la pobreza, 2. Hambre cero, 3. Salud y bienestar, 4. Educación de calidad, 5. Igualdad de género, 6. Agua

limpia y saneamiento, 7. Energía asequible y no contaminante, 8. Trabajo decente y crecimiento económico. 9. Industria, innovación e infraestructura, 10. Reducción de las desigualdades, 11. Ciudades y comunidades sostenibles, 12. Producción y consumo responsables, 13. Acción por el clima, 14. Vida submarina, 15. Vida de ecosistemas terrestres, 16. Paz, justicia e instituciones sólidas y 17. Alianzas para lograr los objetivos (Nations United, 2015).

2.2. Biodiesel como alternativa al ODS 7

El objetivo de desarrollo sostenible No.7, se denomina Energía asequible y no contaminante, el cual está centrado en garantizar que se tenga para todos, el acceso a una energía sostenible, segura y moderna. Aunque cumplir este objetivo no es una tarea fácil, se vuelve más factible si todas las personas colaboran. A pesar de que el progreso en alcanzar estas metas no es suficiente, hay regiones del mundo donde se observa un avance significativo; un ejemplo es África subsahariana, donde la expansión de la energía eléctrica ha superado por primera vez el crecimiento de su población (Ahlborg et al., 2015).

La dependencia global de los combustibles no renovables y las altas emisiones de gases de efecto invernadero han llevado a muchos países a iniciar una transición hacia el uso de recursos renovables para mitigar el cambio climático; países como China, Alemania, España y Estados Unidos están a la vanguardia en el desarrollo de nuevas tecnologías para aprovechar energías renovables como la hidráulica, solar, geotérmica, eólica y biomasa para generar electricidad. En el sector del transporte, la bioenergía es liderada por Estados Unidos, Brasil y Alemania (UPME, 2015). De acuerdo a lo anterior se evidencia la necesidad de buscar alternativas que permitan reducir la dependencia de los combustibles fósiles por combustibles de carácter renovables, no contaminantes y asequibles a la población mundial, es aquí donde entra el biodiesel, que es utilizado como combustible alternativo al diésel y es obtenido a partir de la reacción de aceites vegetales o grasas animales con alcohol, en presencia de un catalizador que puede ser enzimático, básico o ácido.

2.3. ¿Qué es el Biodiesel?

Químicamente el biodiesel es una mezcla de ésteres mono alquílicos de cadena larga obtenidos a partir de grasas animales o aceites vegetales cuando reaccionan con alcoholes a través de una reacción de transesterificación; obteniéndose un éster metílico de ácido graso (Fatty Acid Methyl Ester, abreviado como FAME) o éster etílico de ácido graso (Fatty Acid Ethyl Ester, abreviado como FAEE), dependiendo del alcohol utilizado, metanol o etanol respectivamente (Kumer y Zoynal, 2022).

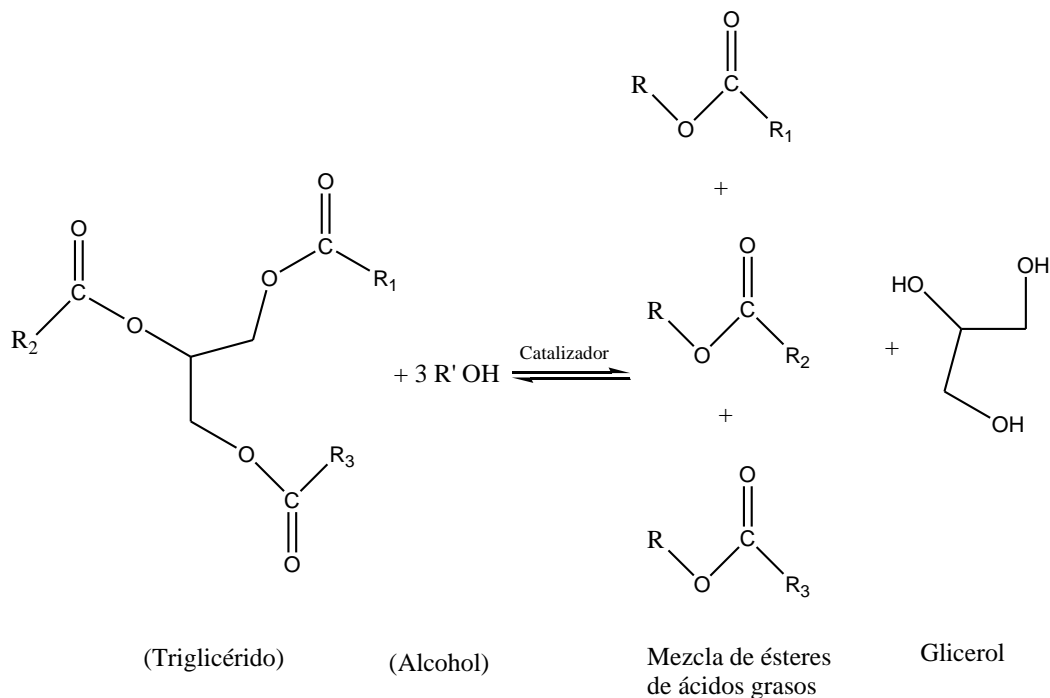
Las materias primas utilizadas en su producción (aceites o grasas), se pueden clasificar en primera, segunda y tercera generación. Las de primera generación son aceites comestibles, principalmente extraídos de semillas, como aceite de girasol, soja, palma, coco y colza. Alrededor del 95% del biodiesel producido a nivel mundial se obtiene de aceites comestibles debido a la asequibilidad en la industria agrícola compitiendo con los alimentos de la canasta familiar, a raíz de esto se empezó a buscar otras alternativas como el uso de semillas oleaginosas no comestibles (segunda generación) para la producción de biodiesel, se puede mencionar aceite extraído de semillas de *Jatropha curcas*, algodón y aceite de cocina usado (Pan et al., 2022). Las materias primas de tercera generación son aceites extraídos de microalgas, siendo una fuente promisorio por su rápido crecimiento y porque no necesita tierras para su cultivo. La producción de biodiesel está supeditada a condiciones climáticas, disponibilidad de materias primas y las políticas de cada país (Khan et al., 2021).

2.4. Obtención de biodiesel mediante Transesterificación

La reacción de transesterificación, también denominada alcoholólisis, es una de las más empleadas para la producción de biodiesel, consiste en hacer reaccionar triglicéridos obtenidos a partir de grasas animales o aceites vegetales con un alcohol, generalmente de cadena corta; se puede llevar a cabo de forma directa también denominada *in situ*, la cual se realiza sin alterar las células de la biomasa o indirecta también conocida como convencional, donde se alteran las células de la biomasa y se da la extracción de lípidos antes de realizar la transesterificación, ambas se pueden efectuar en presencia de catalizadores homogéneos, heterogéneos o enzimáticos. Asimismo, la reacción de transesterificación se puede realizar en condiciones supercríticas también conocida como transesterificación no catalítica

(Fatimah et al., 2022; Pandey et al., 2024). A continuación, se presenta la reacción general de transesterificación (Figura 1).

Figura 1. Reacción de transesterificación, donde; R = Radical del ácido graso que forma el triglicérido y R' = Radical alquilo correspondiente al alcohol.



3. MÉTODO

La metodología aplicada tuvo un enfoque cualitativo, de tipo descriptivo y diseño documental basado en autores como: Pandey, et al., 2024; Ponnusamy, et al., 2024; Sathya et al., 2023; Gupta y Singh, 2023; Kumer y Zoynal, 2022; Fatimah et al., 2022; Gaide et al., 2022; Madurai, et al., 2022; Nayab et al., 2022; Nylund et al., 2022, en la cual se realizó una búsqueda en bases de datos como Science direct, Google Scholar, Scopus, entre otras. Las palabras claves fueron Biodiesel, Sustainable Development Goal, Catalytic Transesterification, Non-Catalytic Transesterification. Se encontraron alrededor 75456

artículos de las temáticas antes mencionadas, posteriormente se delimitó la búsqueda utilizando los operadores booleanos Biodiesel NOT Biogas, Catalytic Transesterification “Sustainable development goal 7”.

4. RESULTADOS

4.1 Transesterificación con catalizadores ácidos homogéneos

Los catalizadores homogéneos son sustancias que están en la misma fase que los reactivos en una reacción química. En la transesterificación, se pueden usar catalizadores ácidos o básicos; los de carácter ácido se usan frecuentemente cuando el aceite utilizado como materia prima tiene alto contenido de grasos libres (por encima del 1%) (Ullah et al., 2016); dentro de estos catalizadores se puede mencionar: ácidos clorhídrico, sulfúrico y fosfórico, sulfato de hierro, trifluoruro de boro, entre otros.

La ventaja de utilizar estos catalizadores radica en la capacidad de producir biodiesel a partir de materias primas de bajo costo, y evitan la conversión de ácidos grasos libres en exceso de jabón, sin embargo, el empleo de catalizadores homogéneos genera varios inconvenientes, como la dificultad para separar el catalizador de los productos de la reacción, la imposibilidad de reutilizarlos, su naturaleza corrosiva y la producción de aguas residuales. Además, las reacciones son más lentas, lo que resulta en un mayor consumo de energía en forma de calor, impactando significativamente en los costos del proceso (Arun et al., 2015).

4.2 Transesterificación con catalizadores básicos homogéneos

Dentro de los catalizadores básicos homogéneos más utilizados para la reacción de transesterificación, se encuentran los hidróxidos de sodio y potasio, metóxidos de sodio y potasio, entre ellos el más usado es el hidróxido de sodio por tener un menor costo, mayor disponibilidad y actividad catalítica (Avhad y Marchetti, 2019).

El uso de catalizadores básicos homogéneos en producción de biodiésel ofrece varias ventajas, se destaca su alta eficiencia debido a la rápida conversión de triglicéridos a biodiésel; son aproximadamente 4000 veces más rápidas que aquellas catalizadas por ácidos; los catalizadores son relativamente económicos y fácilmente disponibles, lo que resulta beneficioso para la producción a gran escala. Además, en estas reacciones requiere temperaturas moderadas, simplificando el proceso, lo que reduce los costos operativos (Wang et al., 2023; Romero-Ibarra et al., 2022).

Sin embargo, los catalizadores básicos presentan algunas desventajas, no son adecuados para aceites con un alto contenido de ácidos grasos libres (FFA >2%), ya que estos pueden reaccionar con los ácidos grasos para formar jabones, lo cual disminuye el rendimiento de biodiésel y dificulta la separación de los productos. La presencia de agua en la reacción puede llevar a la formación de subproductos no deseados, afectando negativamente el rendimiento del biodiésel y aumentando los costos de purificación. Además, el uso de catalizadores básicos puede resultar en la generación de residuos alcalinos, presentando desafíos ambientales en cuanto a su manejo y disposición final (Changmai et al., 2020; Wang et al., 2023).

En la Tabla 1, se presentan las condiciones de reacción de transesterificación de varios aceites con catalizadores homogéneos; se evidencia que tanto los catalizadores ácidos como básicos homogéneos presentan alto rendimiento de la reacción de transesterificación, sin embargo, se observan diferencias significativas en los tiempos de reacción y las relaciones alcohol: aceite requeridas. Las reacciones catalizadas en medio ácido mostraron mayores tiempos de reacción, lo cual podría estar relacionado a que su mecanismo de reacción involucra la protonación del grupo carbonilo del triglicérido, seguido del ataque nucleofílico del alcohol. Este proceso es relativamente lento debido a la baja nucleofilia del alcohol en este tipo de medios. En contraste, los catalizadores básicos actúan a través de la deprotonación del alcohol, generando un ion alcóxido altamente nucleofílico que ataca rápidamente el grupo carbonilo del triglicérido, lo que permite que esta reacción sea más rápida. En lo que respecta a la relación alcohol: aceite, en el caso de catalizadores ácidos, es mayor y podría atribuirse

a la menor eficiencia de los ácidos en la conversión de los triglicéridos en biodiesel, para compensar la menor fuerza catalítica, se requiere un exceso de alcohol y así asegurar una conversión alta a biodiesel.

Tabla 1. Condiciones de transesterificación con catalizadores homogéneos

Materia prima	Relación molar alcohol: aceite	Alcohol	Catalizador	Condiciones de reacción	Rendimiento de la reacción	Referencias
Aceite de <i>Chaetoceros mulleri</i>	30:1	Metanol	HCl	55 a 80 °C, 50 h	99%	Ponnumsa my, et al., 2024
Aceite de semillas de <i>Madhuca longifolia</i>	35:1	Metanol	H ₂ SO ₄	55°C, 3 h	96%	Mani et al., 2020
Aceite de colza	6:1	Metanol	NaOH	60° C, 1h	<96,5%	Pullen, J. y Saeed, K. (2015)
			CH ₃ ONa			
			KOH			
Aceite de girasol	9:1	Metanol	NaOH	60 °C, 12 min	93,40%	Singh et al., 2019
Aceite de algodón usado	6:1	Etanol	KOH	60° C, 3h	98%	Djomdi et al., (2020)
		Metanol		60° C, 3h	97%	

Nota. Elaboración propia.

4.3 Transesterificación con catalizadores ácidos heterogéneos

Los catalizadores heterogéneos, tanto ácidos como básicos, juegan un papel crucial en la reacción de transesterificación para la producción de biodiésel. A diferencia de los catalizadores homogéneos, los heterogéneos están en una fase diferente al reactivo, lo que facilita la separación de los productos (Ghosh et al., 2024).

Los catalizadores ácidos heterogéneos son reconocidos por su capacidad para ser reutilizados múltiples veces sin una disminución significativa en su actividad; lo cual facilita su separación del producto final y reduce los costos operativos. Estudios recientes han demostrado que los catalizadores basados en zeolitas modificadas pueden ser reciclados de manera eficiente en varios ciclos de reacción. Además, estos catalizadores muestran una notable estabilidad térmica y resistencia a la desactivación causada por contaminantes presentes en aceites de baja calidad. Otras investigaciones resaltan el uso de óxidos metálicos dopados, los cuales mantienen su actividad catalítica incluso en presencia de altas concentraciones de ácidos grasos libres (Alismaeel et al., 2022).

A pesar de los avances, los catalizadores ácidos heterogéneos todavía se necesitan condiciones de reacción más exigentes, como temperaturas y presiones altas, para lograr tasas de conversión elevadas, esto puede resultar en un mayor consumo de energía y costos operativos. La desactivación sigue siendo un reto importante, ya que la acumulación de subproductos y contaminantes puede disminuir la actividad del catalizador, requiriendo regeneración periódica lo cual incrementa la complejidad del proceso, al igual que los costos (Gupta & Singh, 2023).

4.4. Transesterificación con catalizadores básicos heterogéneos.

El uso de estos catalizadores presenta numerosas ventajas, tales como bajos costos, capacidad de reutilización, fácil recuperación y compatibilidad ambiental. Kawashima et al., (2009) estudiaron el CaO en una reacción de transesterificación, utilizando aceite de colza y metanol como reactantes bajo condiciones de 15 g de aceite de colza, 3,9 g de metanol y 0,1 g de CaO, con un tiempo de reacción de 3 horas a una temperatura de 90°C, logrando un rendimiento aproximado del 90%. El CaO ha sido modificado con varios óxidos metálicos, incluyendo CaO-CeO₂; CaO-ZnO; CaO-TiO₂ y CaO-MgO; entre estos, el CaO-MgO ha mostrado los mejores resultados en términos de rendimiento en la reacción de transesterificación, alta basicidad y estabilidad térmica (Teo et al., 2014).

En la búsqueda de catalizadores que mejoren el rendimiento de la reacción de transesterificación, reduzcan el impacto ambiental y disminuyan los costos de producción, se han investigado diversas alternativas como escamas de pescado, cáscaras y huevos de moluscos, huesos de animales calcinados, entre otros (Chakraborty et al., 2011; Obadiah et al., 2012); sin embargo, estos materiales no han demostrado ser rentables debido a las altas relaciones de metanol a aceite y los largos tiempos de reacción requeridos.

En contraste con los catalizadores ácidos heterogéneos, los básicos son menos corrosivos, lo que prolonga la vida útil de los equipos de procesamiento y reduce los costos de mantenimiento; esto es especialmente relevante para aplicaciones industriales a gran escala. Los catalizadores básicos heterogéneos son versátiles, ya que pueden ser utilizados con una amplia variedad de aceites, incluyendo aceites vegetales y grasas animales siempre que tengan bajos niveles de ácidos grasos libres (Faruque et al., 2020); sin embargo, los catalizadores básicos heterogéneos son altamente sensibles a la humedad y al dióxido de carbono, lo que puede desactivar rápidamente el catalizador; esto requiere que sean manipulados y almacenados bajo condiciones estrictamente controladas para mantener su eficacia, también es importante mencionar que presenta elevados costos al momento sintetizarlos (De Lima et al., 2016).

En la Tabla 2 se muestran algunos estudios reportados para la reacción de transesterificación utilizando catalizadores heterogéneos de naturaleza ácida y básica; se evidencia para ambos catalizadores buenos rendimientos en la conversión de biodiesel, sin embargo, en lo que respecta a las condiciones de reacción, las catalizadas por ácidos requieren mayores temperaturas de reacción en comparación con las catalizadas por bases, en cuanto a los tiempos de reacción, para ambos casos se observa que son elevados. La mayor temperatura requerida por los catalizadores ácidos heterogéneos podría atribuirse a que estos funcionan mediante la protonación de los triglicéridos, lo que facilita el ataque nucleofílico del alcohol y la formación de biodiesel, siendo este un proceso relativamente lento que requiere mayor energía de activación (temperatura) para alcanzar una velocidad de reacción adecuada a su menor actividad catalítica en comparación con los catalizadores básicos heterogéneos. Los

elevados tiempos de reacción en la transesterificación con catalizadores heterogéneos posiblemente se debe a una combinación de factores como: transferencia de masa, actividad catalítica intrínseca, difusión interna y la desactivación del catalizador.

Tabla 2. Condiciones de transesterificación con catalizadores heterogéneos

Materia prima	Relación molar alcohol: aceite	Alcohol	Catalizador	Condiciones de reacción	Rendimiento de la reacción	Referencias
Aceite de <i>Chlorella minutissima</i>	20:1	Etanol	Nb ₂ O ₅ /SO ₄	80°C, 4 h	98%	Loures et al., 2018
	9:1	Etanol	H ₂ SO ₄	80°C, 8h	96,50%	
Aceite de semilla de <i>Jatropha curcas</i>	9:1	Metanol	TiO ₂ /SO ₄ ²⁻	149°C, 24 h	85,30%	Chen et al., 2018
Aceite vegetal usado	15:1	Metanol	CaO	65°C, 6 h	91%	Maneerung et al., 2016
Aceite vegetal usado	16,7:1	Metanol	CaO-MgO	69,37 °C, 7 h	98,40%	Foroutan et al., 2020
Aceite de girasol	12:1	Metanol	hidrotalcitas de Mg-Al	60°C, 24 h	78%	Navajas et al., 2018
Aceite de colza	13,71:1	Butanol	(CaMg(CO ₃) ₂)	110°C, 8h	94,55%	Gaide et al., 2022

Nota: Elaboración propia.

La transferencia de masa es el proceso por el cual los reactivos (aceite y alcohol) se transportan hacia la superficie del catalizador y los productos formados (biodiesel y glicerol) se difunden desde la superficie del catalizador hacia la fase líquida; si este proceso es lento,

los reactivos tardan más en llegar a los sitios activos del catalizador y los productos formados tardan más en salir, lo que reduce la velocidad de reacción y prolonga el tiempo necesario para alcanzar la conversión deseada.

La actividad catalítica intrínseca se refiere a la capacidad del catalizador para acelerar la reacción química; esta capacidad depende de la naturaleza del material catalítico, su estructura superficial y la distribución de los sitios activos. Un catalizador con menor actividad intrínseca requerirá más tiempo para convertir la misma cantidad de reactivos en productos, ya que sus sitios activos son menos eficientes en la promoción de la reacción. Algunos catalizadores heterogéneos pueden sufrir desactivación durante la reacción, ya sea por adsorción de compuestos presentes en el aceite o por cambios en la estructura del material catalítico. La desactivación del catalizador reduce su actividad catalítica y puede prolongar el tiempo de reacción necesario para alcanzar la conversión deseada.

4.5 Transesterificación con catalizadores enzimáticos.

De acuerdo con Parandi et al., (2022) los catalizadores enzimáticos, particularmente las lipasas, han emergido como una alternativa prometedora para la transesterificación de triglicéridos con alcoholes para la producción de biodiesel; las lipasas, debido a su alta selectividad y especificidad, permiten obtener biodiesel de gran pureza y con pocos subproductos indeseados, lo que maximiza la eficiencia del proceso y la calidad del biodiesel.

Los catalizadores enzimáticos operan eficientemente a temperaturas y presiones moderadas, reduciendo así el consumo energético y los costos operativos, y previniendo la degradación térmica de los aceites y del biodiesel producido (Kalita et al., 2022). Las lipasas inmovilizadas pueden reutilizarse en múltiples ciclos de reacción sin perder significativamente su actividad catalítica, disminuyendo los costos operativos y reduciendo la generación de residuos, lo cual hace el proceso más sostenible (Avhad et al., 2019). Además, estos catalizadores son versátiles y pueden procesar una amplia variedad de aceites y grasas, permitiendo el uso de materias primas más económicas y sostenibles.

Sin embargo, la producción y adquisición de enzimas inmovilizadas pueden ser costosas, lo que limita su adopción a gran escala a pesar de sus ventajas operativas. Con el tiempo, las lipasas inmovilizadas pueden desactivarse y perder actividad catalítica debido a la acumulación de subproductos y cambios en la estructura del soporte, requiriendo regeneración o reemplazo periódico del catalizador (Babadi et al., 2022). Los catalizadores enzimáticos también son sensibles a factores como el pH, la presencia de inhibidores y la composición del aceite. Las impurezas como el agua y los ácidos grasos libres pueden afectar negativamente la actividad enzimática, lo que exige pretratamientos adicionales del aceite (Cavalcante et al., 2021). En la Tabla 3 se presentan las condiciones de reacciones de transesterificación de grasas y aceites con catalizadores enzimáticos.

Tabla 3. Condiciones de transesterificación con catalizadores enzimáticos

Materia prima	Relación molar alcohol: aceite	Alcohol	Catalizador	Condiciones de reacción	Rendimiento de la reacción	Referencias
Grasa de pollo	4,5:1	Metanol	Lipasa NS40116	30°C 3h	77%	Da Silva et al., 2018
Aceite de <i>Dunaliella salina</i>	1:8	Etanol, Butanol, Alcohol isoamílico	Lipasa de <i>Burkholderia cepacia</i>	120 horas	Oscilan entre 70,8% y 89,0%	Da Silva et al., 2020
Aceite residual de <i>Phoenix canariensis</i>	4,3:1	Metanol	Lipasa libre <i>lipozyme</i> TL100L de <i>Thermomyces lanuginosus</i>	31°C, 6,9 h	93,80%	Zhou et al., 2021

Nota: Elaboración propia.

De la Tabla 3 se evidencia bajas relaciones alcohol: aceite en todos los estudios reportados, así como bajas temperaturas de reacción, tiempos elevados y buenos rendimientos,

destacándose el mayor (93,80%) utilizando como catalizador una Lipasa libre. La baja relación alcohol: aceite reportado en todos los estudios sugiere que los catalizadores utilizados presentan una alta actividad catalítica, permitiendo alcanzar conversiones completas con una menor cantidad de alcohol.

La transesterificación enzimática, a diferencia de la transesterificación química con catalizadores tradicionales, se lleva a cabo a bajas temperaturas, generalmente entre 30°C y 40°C; esta elección se puede atribuir a varias razones: las enzimas son proteínas sensibles a la temperatura y su actividad catalítica se ve afectada por las condiciones térmicas. A temperaturas elevadas, las enzimas pueden desnaturalizarse, perdiendo su estructura tridimensional y, por lo tanto, su capacidad de catalizar la reacción. Las bajas temperaturas permiten mantener la integridad estructural de las enzimas y optimizar su actividad catalítica. Asimismo, las altas temperaturas pueden acelerar la desactivación de las enzimas por degradación proteolítica o por interacción con compuestos presentes en el aceite crudo. Al realizar la transesterificación a bajas temperaturas, se minimiza la desactivación enzimática, lo que permite utilizar la misma enzima durante un mayor tiempo y reducir los costos del proceso.

Los tiempos de reacción en estos estudios son relativamente largos (3 horas, 6,9 horas y 120 horas). Esto puede deberse a la complejidad de la reacción, la naturaleza del catalizador y las características del aceite utilizado. El estudio que utiliza lipasa libre como catalizador alcanza el mayor rendimiento (93,8%), lo que sugiere que este tipo de catalizador puede ser más eficiente que los catalizadores inmovilizados en algunos casos. A pesar de los tiempos de reacción prolongados, los estudios reportan rendimientos que oscilan entre el 70,8% y el 93,8%, lo que indica que la transesterificación enzimática puede ser un proceso eficiente para la producción de biodiesel a partir de diversas materias primas.

4.6 Transesterificación no catalítica

La reacción de transesterificación no catalítica es una alternativa emergente para la producción de biodiesel que evita el uso de catalizadores tradicionales. Este proceso implica

la conversión de triglicéridos presentes en aceites y grasas en ésteres de ácidos grasos (biodiesel) y glicerol, utilizando alcoholes como metanol o etanol bajo condiciones extremas de temperatura y presión en lugar de catalizadores (Shaah et al., 2022).

La principal ventaja de la transesterificación no catalítica es la eliminación de catalizadores, lo que simplifica el proceso y reduce costos, además de evitar pasos adicionales de neutralización y purificación, mejorando la eficiencia (Jung et al., 2021). Este método tolera mejores materias primas con altos contenidos de ácidos grasos libres y agua, como aceites residuales y grasas animales, sin formar jabones. Las condiciones supercríticas permiten una conversión más rápida y completa del aceite en biodiesel debido a las altas temperaturas y presiones. Sin embargo, la transesterificación no catalítica se lleva a cabo a elevadas presiones y temperaturas, lo que provoca la degradación de los ácidos grasos insaturados presentes en los aceites; esta descomposición afecta negativamente la fluidez del biodiesel resultante, especialmente en condiciones de bajas temperaturas (Nayab et al., 2022).

En la Tabla 4 se muestran algunos resultados de la reacción de transesterificación en condiciones no catalíticas; se evidencian altos rendimientos en la conversión de biodiesel utilizando como fluidos supercríticos al dióxido de carbono, etanol y metanol, mientras que al utilizar carbonato y acetato de dimetilo los rendimientos disminuyen considerablemente, asimismo, se evidencia alta relación alcohol: aceite cuando se utiliza dióxido de carbono supercrítico, al igual que altas temperaturas y tiempos cortos de reacción en todos los estudios reportados. Las investigaciones presentadas para la transesterificación no catalítica, evidencian altos rendimientos en la conversión de biodiesel, la elección del alcohol en la transesterificación no catalítica depende de varios factores, incluyendo su reactividad con los triglicéridos, la solubilidad en el sistema de reacción, el costo y su impacto ambiental.

Tabla 4. Condiciones de transesterificación no catalítica

Materia prima	Relación molar alcohol: aceite	Fluido supercrítico	Condiciones de reacción	Rendimiento de la reacción	Referencias
Aceite residual de torta industrial de palmiste	42:1	Dióxido de carbono	350°C, 5 min	99,81%	Da Costa et al., 2019
Grasa de cerdo residual	1:28 a 1:37,5 y 1:47	Etanol	Entre 220°C y 290°C	99%	Shah et al., 2015
<i>Shizochitrium limacinum</i>	10:1	Metanol	270°C 40 min	90%	Rathnam & Madras, 2019
		Carbonato de dimetilo	270°C 30 min	50%	
		Acetato de metilo	270°C 40 min	40%	

Nota: Elaboración propia.

En el caso del aceite residual de torta industrial de palmiste, se obtuvo un rendimiento máximo del 99,81% utilizando metanol supercrítico como agente de metilación. En la transesterificación del aceite de microalgas *Shizochitrium limacinum*, se alcanzaron rendimientos superiores al 90% utilizando metanol supercrítico a 543°K durante 40 minutos. Estos resultados sugieren que la transesterificación no catalítica puede ser una alternativa viable para la producción de biodiesel. Se observa que la relación molar alcohol: aceite requerido para la transesterificación no catalítica es significativamente mayor que la utilizada en transesterificaciones catalíticas. En el estudio con aceite de palmiste, la relación molar metanol: aceite para alcanzar el rendimiento máximo fue de 42:1, mientras que en transesterificaciones catalíticas típicas se utilizan relaciones entre 3:1 y 6:1. Esto podría atribuirse a la menor reactividad del CO₂ supercrítico y otros agentes de metilación supercríticos en comparación con los alcoholes catalíticos. El carbonato de dimetilo y el

acetato de metilo, presentan rendimientos significativamente más bajos, esto se atribuye a la menor reactividad de estos compuestos con los triglicéridos.

4.7 Disponibilidad y pertinencia de materias primas

La relevancia de evaluar la disponibilidad y pertinencia de las materias primas para la producción de biodiésel es crucial en el contexto actual de transición hacia energías más sostenibles; las materias primas utilizadas no solo determinan la viabilidad económica y tecnológica del biodiésel, sino que también tienen un impacto significativo en la sostenibilidad ambiental y la seguridad alimentaria.

4.7.1 Materias primas de primera generación

La producción de biodiésel ha emergido como una alternativa viable y sostenible a los combustibles fósiles, utilizando principalmente materias primas de primera generación, como aceites vegetales extraídos a partir de semillas de palma, soya, colza, entre otras (Ramos et al., 2019). Es esencial comprender y optimizar la producción de biodiésel teniendo en cuenta el tipo de materia prima, las de primera generación han sido objeto de debate debido a la competencia con la producción de alimentos y las posibles repercusiones ambientales negativas.

- **Disponibilidad**

Aceite de Palma: según el estudio de Corley y Tinker (2016), Indonesia y Malasia lideran la producción mundial de aceite de palma, contribuyendo con aproximadamente el 85% del total global. La producción anual de aceite de palma es de alrededor de 70 millones de toneladas, este aceite tiene un alto rendimiento por hectárea (aproximadamente 3,8 toneladas de aceite por hectárea) y es una materia prima eficiente para la producción de biodiésel. Sin embargo, la expansión de sus plantaciones ha sido vinculada a la deforestación y la pérdida de biodiversidad, además de impactos negativos en las comunidades locales (Meijaard et al., 2020).

Aceite de Soja: de acuerdo con la USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos), los principales productores de aceite de soja son Brasil, Estados Unidos y Argentina. La producción global anual es de aproximadamente 55 millones de toneladas, es un cultivo importante tanto para la alimentación como para la producción de biodiésel, ofreciendo una cadena de suministro robusta (USDA, 2022).

Aceite de Colza: es ampliamente cultivada en Europa, especialmente en Alemania, Francia y el Reino Unido. La producción anual es de alrededor de 28 millones de toneladas, el aceite de colza tiene un buen rendimiento para la producción de biodiésel y es adaptado a climas templados (Statista, 2022).

- **Pertinencia**

El uso de cultivos alimentarios para biocombustibles ha sido criticado por su impacto en la seguridad alimentaria y la conversión de tierras agrícolas; esto ha llevado a regulaciones más estrictas, especialmente en la Unión Europea. Aunque los biocombustibles pueden reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con los combustibles fósiles, el impacto neto puede ser limitado dependiendo de las prácticas agrícolas y la conversión de tierras. La producción de biocombustibles puede ser económicamente viable debido a los subsidios, pero la competencia con la producción de alimentos puede elevar los precios de estos y crear tensiones en el mercado. En algunos casos, la producción de biocombustibles ha proporcionado una fuente adicional de ingresos para los agricultores, especialmente en regiones con políticas de apoyo robustas (Searchinger et al., 2022).

Muchos países han establecido mandatos de mezcla que exigen la inclusión de un porcentaje de biocombustibles en los combustibles fósiles, lo que ha sido un motor clave para la demanda. Algunas regiones están adoptando políticas para limitar el uso de cultivos alimentarios en biocombustibles y promover materias primas más sostenibles, como residuos y aceites usados (FAO, 2023).

4.7.2 Materias primas de segunda generación

La producción de biodiésel a partir de materias primas de segunda generación es una alternativa sostenible y menos competitiva con los alimentos en comparación con las materias primas de primera generación. Este análisis examina la disponibilidad y relevancia de estas materias primas, incluyendo aceites de cocina usados (Used Cooked Oil su sigla en inglés UCO), basándose en investigaciones recientes.

- **Disponibilidad**

Los aceites de materias no comestibles dentro de las que se pueden mencionar la *Jatropha curcas*, *Pongamia pinnata* (Karanja), *Camelina sativa*, entre otras, pueden cultivarse en tierras marginales no aptas para la agricultura alimentaria, evitando la competencia con la producción de alimentos. La *Jatropha curcas* puede producir 1-2 toneladas de aceite por hectárea en tierras marginales, lo que permite una mejora en la economía rural donde se encuentran estos terrenos. No obstante, los rendimientos son inconsistentes y requieren investigación adicional para optimizar el cultivo y extracción de aceite, estos cultivos necesitan condiciones específicas y pueden ser vulnerables a plagas y enfermedades (Villafuerte-Barreto et al., 2022).

En lo que respecta al aceite de Cocina Usado, su recolección varía de acuerdo a la región, pero tiene un potencial significativo en áreas urbanas, con una producción global estimada en 16,5 millones de toneladas anuales (Hosseinzadeh-Bandbafha et al., 2022). Su uso evita la disposición inadecuada de aceites, reduce la presión sobre tierras agrícolas y tiene menor impacto ambiental comparado con aceites vírgenes, sin embargo, la calidad del UCO puede ser inconsistente y se necesita infraestructura eficiente para su recolección y procesamiento. Aunque significativo, su volumen no puede satisfacer completamente la demanda global de biodiésel, pero puede complementar otras fuentes (Rocha-Meneses et al., 2023).

- **Pertinencia**

Los aceites no comestibles no compiten con cultivos alimentarios y pueden cultivarse en tierras marginales, mejorando la sostenibilidad agrícola, ofrecen oportunidades económicas en regiones donde son cultivadas, pero requieren inversión en investigación y desarrollo para mejorar la viabilidad económica. En lo que respecta al (UCO), reutiliza residuos urbanos y reduce la carga ambiental asociada con la disposición de aceites de cocina (Casas et al., 2023); puede ser más económico que los aceites vírgenes si se establece una infraestructura eficiente de recolección y procesamiento (Rocha-Meneses et al., 2023).

4.7.3 Materias primas de tercera generación

Las algas y microalgas son recursos prometedores para la producción de biocombustibles y productos de valor añadido debido a su alta eficiencia fotosintética, rápida tasa de crecimiento y capacidad para capturar dióxido de carbono. En comparación con las plantas terrestres, las microalgas producen más biomasa por unidad de área, haciéndolas una fuente atractiva para biocombustibles sostenibles.

- **Disponibilidad**

Las microalgas están presentes en diversos entornos, desde aguas marinas hasta dulces y salobres, la variedad de especies permite seleccionar cepas óptimas para aplicaciones industriales. Gonzalez-Fernandez y Muñoz (2017) indican que existen miles de especies de microalgas con características y composiciones bioquímicas distintas, facilitando su elección para la producción de biocombustibles, pueden crecer en aguas no aptas para la agricultura, como aguas salobres o efluentes, evitando la competencia con cultivos alimentarios y mejorando la sostenibilidad. Su tecnología de cultivo en fotobiorreactores y sistemas abiertos permite una producción controlada y escalable de microalgas, el uso de biorreactores ha mejorado la eficiencia de producción de biomasa, aunque con altos costos iniciales (De Morais, et al., 2020).

- **Pertinencia**

Las microalgas fijan CO₂ eficientemente, ayudando a mitigar el cambio climático. Wang et al. (2019) destacan que algunos sistemas de cultivo pueden capturar hasta 1,83 kg de CO₂ por cada kg de biomasa producida; debido a su alto contenido lipídico, las microalgas son una fuente prometedora de biocombustibles. Suali y Sarbatly (2012) indican que algunas cepas pueden acumular hasta un 50% de su peso seco en lípidos, utilizables para biodiésel, también pueden integrarse en sistemas de tratamiento de aguas residuales, mejorando la eficiencia del tratamiento y proporcionando biomasa para biocombustibles. A pesar de su potencial como fuente de biocombustibles sostenibles, el cultivo de algas y microalgas presenta algunas desventajas significativas que deben abordarse para su viabilidad a gran escala:

Costos elevados: la producción de biodiésel a partir de algas y microalgas es significativamente más costosa que la de biocombustibles de primera y segunda generación, debido a la necesidad de infraestructura especializada, optimización del cultivo y tecnologías eficientes para la cosecha y el procesamiento, las técnicas actuales, como la centrifugación y la filtración, son costosas y energéticamente intensivas por lo que se requieren avances tecnológicos para reducir costos y mejorar la viabilidad económica (Mandley et al., 2020).

Demanda de recursos: el cultivo a gran escala requiere grandes cantidades de agua y nutrientes, lo que puede generar competencia con otros sectores y provocar impactos ambientales, asimismo, el uso excesivo de fertilizantes puede causar eutrofización, afectando negativamente los ecosistemas acuáticos (Hossain et al., 2019).

Impactos ambientales potenciales: es crucial evaluar cuidadosamente los posibles impactos negativos, como la liberación de gases de efecto invernadero, la eutrofización y la pérdida de biodiversidad, es fundamental implementar prácticas de cultivo sostenibles y evaluaciones

rigurosas para minimizar estos impactos y garantizar la sostenibilidad del proceso (Sathya et al., 2023).

Eficiencia de conversión variable: la eficiencia de conversión de biomasa de algas y microalgas en biodiésel varía considerablemente entre diferentes especies y condiciones de cultivo. Se requieren investigaciones para optimizar la productividad y la composición lipídica de las algas y microalgas para mejorar la eficiencia general del proceso (Stephens et al., 2010). Si bien las algas y microalgas ofrecen un potencial significativo para la producción de biodiésel sostenible, es crucial abordar las desventajas mencionadas anteriormente para hacer que esta tecnología sea viable a nivel comercial. La investigación y el desarrollo continuo, junto con la implementación de prácticas sostenibles, son fundamentales para superar estos desafíos y desbloquear el verdadero potencial de los biocombustibles de algas y microalgas.

5. CONCLUSIONES

El uso de catalizadores homogéneos al igual que los heterogéneos presentan muy buenos rendimientos en la producción de biodiesel, sin embargo, tanto catalizadores homogéneos como heterogéneos tienen sus propias ventajas y desventajas. Los homogéneos ofrecen alta eficiencia y velocidad de reacción, pero presentan desafíos significativos en cuanto a la separación y gestión de residuos. Por otro lado, los heterogéneos, aunque son reutilizables y más fáciles de manejar, pueden requerir condiciones de operación más exigentes y desactivarse con el tiempo. La selección del tipo de catalizador debe basarse en una evaluación equilibrada de estos factores, considerando las especificidades del proceso de producción, los objetivos operativos y ambientales de la producción de biodiesel.

Los catalizadores enzimáticos ofrecen una opción prometedora y sostenible para la transesterificación en la producción de biodiesel, destacándose por su alta selectividad,

condiciones operativas suaves y capacidad de reutilización. Sin embargo, su adopción a gran escala está limitada por los altos costos iniciales y la necesidad de manejar cuidadosamente las condiciones del proceso para evitar la desactivación enzimática. La investigación continua y el desarrollo tecnológico son esenciales para superar estos desafíos y aprovechar plenamente los beneficios de los catalizadores enzimáticos en la industria del biodiesel.

La elección entre transesterificación catalítica y no catalítica depende de diversos factores, incluyendo la calidad de la materia prima, los costos operativos, de capital y las consideraciones ambientales. La transesterificación catalítica es adecuada para procesos que buscan alta eficiencia y rendimiento bajo condiciones moderadas, pero enfrenta desafíos relacionados con la separación de catalizadores y la sensibilidad a impurezas. Por otro lado, la transesterificación no catalítica ofrece simplicidad operativa y es robusta frente a aceites de baja calidad, pero requiere condiciones operativas más severas y puede tener menor eficiencia.

Las materias primas de primera generación, aunque efectivas y bien establecidas, presentan problemas de sostenibilidad y seguridad alimentaria. Las de segunda generación ofrecen una solución más sostenible al utilizar residuos y subproductos, sin embargo, requieren inversiones en tecnología y logística. Las materias primas de tercera generación, como las microalgas, presentan el mayor potencial a largo plazo debido a su alta productividad y sostenibilidad, pero necesitan superar barreras tecnológicas y económicas para ser viables a gran escala. La combinación de estas fuentes, optimizando sus respectivas ventajas y mitigando sus desventajas, puede proporcionar una solución robusta y sostenible para la producción de biodiésel en el futuro.

6. REFERENCIAS

- Ahlborg, H., Boräng, F., Jagers, S., & Söderholm, P. (2015). Provision of electricity to African households: The importance of democracy and institutional quality, *Energy Policy*, 87,125-135, ISSN 0301-4215. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.09.002>.
- Alismaeel, Z. T., Al-Jadir, T. M., Albayati, T. M., Abbas, A. S., & Doyle, A. M. (2022). Modification of FAU zeolite as an active heterogeneous catalyst for biodiesel production and theoretical considerations for kinetic modeling. *Advanced Powder Technology*, 33(7), 103646.
- Arun, N., Sharma, R & Dalai, A. (2015). Green diesel synthesis by hydrodeoxygenation of bio-based feedstocks: Strategies for catalyst design and development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 48, 240-255. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.074>
- Avhad, M. R., & Marchetti, J. M. (2019). Uses of enzymes for biodiesel production. In *Advanced bioprocessing for alternative fuels, biobased chemicals, and bioproducts* (pp. 135-152). *Woodhead Publishing*.
- Babadi, A. A., Rahmati, S., Fakhlaei, R., Barati, B., Wang, S., Doherty, W., & Ostrikov, K. K. (2022). Emerging technologies for biodiesel production: processes, challenges, and opportunities. *Biomass and Bioenergy*, 163, 106521.
- Casas, L. C., Orjuela, A., & Poganietz, W. R. (2023). Sustainability assessment of the valorization scheme of used cooking oils (UCOs): the case study of Bogotá, Colombia. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-17.
- Cavalcante, F. T. T., Neto, F. S., de Aguiar Falcão, I. R., da Silva Souza, J. E., de Moura Junior, L. S., da Silva Sousa, P., ... & dos Santos, J. C. (2021). Opportunities for improving biodiesel production via lipase catalysis. *Fuel*, 288, 119577.
- Chakraborty, R., Bepari, S., & Banerjee, A. (2011). Application of calcined waste fish (Labeo rohita) scale as low-cost heterogeneous catalyst for biodiesel synthesis. *Bioresource technology*, 102(3), 3610-3618.

-
- Changmai, B., Vanlalveni, C., Ingle, A. P., Bhagat, R., & Rokhum, S. L. (2020). Widely used catalysts in biodiesel production: a review. *RSC advances*, 10(68), 41625-41679.
- Chen, C., Cai, L., Shangguan, X., Li, L., Hong, Y., & Wu, G. (2018). Heterogeneous and efficient transesterification of *Jatropha curcas* L. seed oil to produce biodiesel catalysed by nano-sized $\text{SO}_4^{2-}/\text{TiO}_2$. *Royal Society Open Science*, 5(11), 181331.
- Chozhavendhan, S., Vijay, M., Fransila, B., Praveen, R., Kumar., & Karthiga, G. (2020). A review on influencing parameters of biodiesel production and purification processes, *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 1–2, 1-6, ISSN 2666-0865. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2020.04.002>.
- Corley, R.H.V. and Tinker, P.B. (2016) *The Oil Palm*. Wiley-Blackwell, Hoboken.
- Da Costa, W. A., Bezerra, F. W. F., De Oliveira, M. S., de Aguiar Andrade, E. H., dos Santos, A. P. M., Cunha, V. M. B., ... & de Carvalho Junior, R. N. (2019). Supercritical CO_2 extraction and transesterification of the residual oil from industrial palm kernel cake with supercritical methanol. *The Journal of Supercritical Fluids*, 147, 179-187.
- Da Silva, A. P. T., Bredda, E. H., de Castro, H. F., & Da Rós, P. C. (2020). Enzymatic catalysis: An environmentally friendly method to enhance the transesterification of microalgal oil with fusel oil for production of fatty acid esters with potential application as biolubricants. *Fuel*, 273, 117786.
- Da Silva, J. R. P., Nürnberg, A. J., da Costa, F. P., Zenevicz, M. C., Lerin, L. A., Zanetti, M., ... & de Oliveira, D. (2018). Lipase NS40116 as catalyst for enzymatic transesterification of abdominal chicken fat as substrate. *Bioresource Technology Reports*, 4, 214-217.
- De Lima, A. L., Ronconi, C. M., & Mota, C. J. (2016). Heterogeneous basic catalysts for biodiesel production. *Catalysis Science & Technology*, 6(9), 2877-2891.
- De Souza, T., Pinto, G., Julio, A., Coronado, C., Perez, R., Siqueira, B., Da Costa, R., Roberts, J., & Palacio, J. (2022). Biodiesel in South American countries: A review on policies, stages of development and imminent competition with hydrotreated vegetable oil,

-
- Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 153,111755, ISSN 1364-0321.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111755>.
- Djomdi, Leku, M. T., Djoulde, D., Delattre, C., & Michaud, P. (2020). Purification and valorization of waste cotton seed oil as an alternative feedstock for biodiesel production. *Bioengineering*, 7(2), 41.
- FAO. 2023. The State of Food and Agriculture 2023 – Revealing the true cost of food to transform agrifood systems. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc7724en>
- Faruque, M. O., Razzak, S. A., & Hossain, M. M. (2020). Application of heterogeneous catalysts for biodiesel production from microalgal oil—a review. *Catalysts*, 10(9), 1025.
- Fatimah, I., Yanti, I., Suharto, T., & Sagadevan, S. (2022). ZrO₂-based catalysts for biodiesel production: A review, *Inorganic Chemistry Communications*,143,109808, ISSN 1387-7003. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2022.109808>.
- Foroutan, R., Mohammadi, R., Esmaili, H., Bektashi, F. M., & Tamjidi, S. (2020). Transesterification of waste edible oils to biodiesel using calcium oxide@ magnesium oxide nanocatalyst. *Waste Management*, 105, 373-383.
- Gaide, I., Makareviciene, V., & Sendzikiene, E. (2022). Effectiveness of eggshells as natural heterogeneous catalysts for transesterification of rapeseed oil with methanol. *Catalysts*, 12(3), 246.
- Ghosh, N., Patra, M., & Halder, G. (2024). Current advances and future outlook of heterogeneous catalytic transesterification towards biodiesel production from waste cooking oil. *Sustainable Energy & Fuels*.
- Halkos, G., & Gkampoura, E. (2021). Where do we stand on the 17 Sustainable Development Goals? An overview on progress, *Economic Analysis and Policy*, 70, 94-122, ISSN 0313-5926. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2021.02.001>.

-
- Hossain, N., Mahlia, T. M. I., & Saidur, R. (2019). Latest development in microalgae-biofuel production with nano-additives. *Biotechnology for biofuels*, 12, 1-16.
- Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Nizami, A. S., Kalogirou, S. A., Gupta, V. K., Park, Y. K., Fallahi, A., ... & Tabatabaei, M. (2022). Environmental life cycle assessment of biodiesel production from waste cooking oil: A systematic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 161, 112411.
- Jung, S., Jung, J. M., Lee, K. H., & Kwon, E. E. (2021). Biodiesels from non-catalytic transesterification of plant oils and their performances as aviation fuels. *Energy Conversion and Management*, 244, 114479.
- Kalita, P., Basumatary, B., Saikia, P., Das, B., & Basumatary, S. (2022). Biodiesel as renewable biofuel produced via enzyme-based catalyzed transesterification. *Energy Nexus*, 6, 100087.
- Kawashima, A., Matsubara, K., & Honda, K. (2009). Acceleration of catalytic activity of calcium oxide for biodiesel production. *Bioresource Technology*, 100 (2), 696-700.
- Khan, I., Naeem, A., Farooq, M., Ghazi, Z., & Saeed, T. (2021). Reusable Na-SiO₂@ CeO₂ catalyst for efficient biodiesel production from non-edible wild olive oil as a new and potential feedstock. *Energy Conversion and Management*, 231, 113854.
- Kumer., D., & Zoynal, M. (2022). Potentiality of biodiesel and bioethanol production from feedstock in Bangladesh: A review, *Heliyon*, e11213, ISSN 2405-8440, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11213>.
- Loures, C., Amaral, M., Da Rós, P., Zorn, S., de Castro, H., & Silva, M. (2018) Simultaneous esterification and transesterification of microbial oil from *Chlorella minutissima* by acid catalysis route: A comparison between homogeneous and heterogeneous catalysts, *Fuel*, 211, 261-268, ISSN 0016-2361, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.09.073>.
- Madurai, R., Pugazhendhi, R., Irfan, M., Mihet-Popa, L., Campana, P., & Khan, I. (2022). A novel Sustainable Development Goal 7 composite index as the paradigm for energy

-
- sustainability assessment: A case study from Europe, *Applied Energy*, 307, 118173, ISSN 0306-2619. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118173>.
- Mandley, S. J., Daioglou, V., Junginger, H. M., van Vuuren, D. P., & Wicke, B. (2020). EU bioenergy development to 2050. *Renewable and sustainable energy reviews*, 127, 109858.
- Maneerung, T., Kawi, S., Dai, Y., & Wang, C. H. (2016). Sustainable biodiesel production via transesterification of waste cooking oil by using CaO catalysts prepared from chicken manure. *Energy Conversion and Management*, 123, 487-497.
- Mani, Y., Devaraj, T., Devaraj, K., AbdurRawoof, S. A., & Subramanian, S. (2020). Experimental investigation of biodiesel production from *Madhuca longifolia* seed through in situ transesterification and its kinetics and thermodynamic studies. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 36450-36462.
- Meijaard, E., Brooks, T.M., Carlson, K.M. et al. The environmental impacts of palm oil in context. *Nat. Plants* 6, 1418–1426 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41477-020-00813-w>
- Nations, United. (2015). Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development. *New York: United Nations, Department of Economic and Social Affairs*.
- Navajas, A., Campo, I., Moral, A., Echave, J., Sanz, O., Montes, M., Odriozola, J., Arzamendi, G, & Gandía, L. (2018). Outstanding performance of rehydrated Mg-Al hydrotalcites as heterogeneous methanolysis catalysts for the synthesis of biodiesel, *Fuel*, 211, 173-181. ISSN 0016-2361. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.09.061>.
- Nayab, R., Imran, M., Ramzan, M., Tariq, M., Babar, M., Nadeem, M., & Akhtar H. (2022). Sustainable biodiesel production via catalytic and non-catalytic transesterification of feedstock materials – A review, *Fuel*, 328, 125254, ISSN 0016-2361. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.125254>.

-
- Nylund, P. A., Agarwal, N., Probst, C., & Brem, A. (2022). Firm engagement in UN Sustainable Development Goals: Introduction of a constraints map from a corporate reports content analysis. *Journal of Cleaner Production*, 371, 133446.
- Pan, H., Xia, Q., Wang, Y., Shen, Z., Huang, H., Ge, Z., Li, X., He, J., Wang, X., Li, L., & Wang, Y. (2022). Recent advances in biodiesel production using functional carbon materials as acid/base catalysts, *Fuel Processing Technology*, 237, 107421, ISSN 0378-3820. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2022.107421>.
- Pandey, S., Narayanan, I., Selvaraj, R., Varadavenkatesan, T., & Vinayagam, R. (2024). Biodiesel production from microalgae: A comprehensive review on influential factors, transesterification processes, and challenges. *Fuel*, 367, 131547.
- Parandi, E., Safaripour, M., Abdellattif, M. H., Saidi, M., Bozorgian, A., Nodeh, H. R., & Rezania, S. (2022). Biodiesel production from waste cooking oil using a novel biocatalyst of lipase enzyme immobilized magnetic nanocomposite. *Fuel*, 313, 123057.
- Parra, R. (2018). La Agenda 2030 y sus Objetivos de Desarrollo Sostenible: antecedentes y perspectivas para promover el consumo y la producción sostenibles en Chile, *Revista de Derecho Ambiental*, 10, 99-121.
- Ponnumsamay, V. K., Al-Hazmi, H. E., Shobana, S., Dharmaraja, J., Jadhav, D. A., Piechota, G., ... & Kumar, G. (2024). A review on homogeneous and heterogeneous catalytic microalgal lipid extraction and transesterification for biofuel production. *Chinese Journal of Catalysis*, 59, 97-117.
- Pullen, J., & Saeed, K. (2015). Investigation of the factors affecting the progress of base-catalyzed transesterification of rapeseed oil to biodiesel FAME. *Fuel Processing Technology*, 130, 127-135.
- Ramos, M., Dias, A. P. S., Puna, J. F., Gomes, J., & Bordado, J. C. (2019). Biodiesel production processes and sustainable raw materials. *Energies*, 12(23), 4408.

-
- Rathnam, V. M., & Madras, G. (2019). Conversion of *Shizochitrium limacinum* microalgae to biodiesel by non-catalytic transesterification using various supercritical fluids. *Bioresource technology*, 288, 121538.
- Rocha-Meneses, L., Hari, A., Inayat, A., Yousef, L. A., Alarab, S., Abdallah, M., ... & Kikas, T. (2023). Recent advances on biodiesel production from waste cooking oil (WCO): A review of reactors, catalysts, and optimization techniques impacting the production. *Fuel*, 348, 128514.
- Romero-Ibarra, I. C., Escuela, A. M. P., Zúñiga, G. E. M., & Muñoz, W. E. M. (2022). Direct Transesterification: From Seeds to Biodiesel in One-Step Using Homogeneous and Heterogeneous Catalyst. *IntechOpen*.
- Sathya, A. B., Thirunavukkarasu, A., Nithya, R., Nandan, A., Sakthishobana, K., Kola, A. K., ... & Deepanraj, B. (2023). Microalgal biofuel production: Potential challenges and prospective research. *Fuel*, 332, 126199.
- Searchinger, T., James, O., Dumas, P., Kastner, T., & Wirsenius, S. (2022). EU climate plan sacrifices carbon storage and biodiversity for bioenergy. *Nature*, 612(7938), 27-30.
- Shaah, M. A., Hossain, M. S., Allafi, F., Ab Kadir, M. O., & Ahmad, M. I. (2022). Biodiesel production from candlenut oil using a non-catalytic supercritical methanol transesterification process: optimization, kinetics, and thermodynamic studies. *RSC advances*, 12(16), 9845-9861.
- Shah, M., Poudel, J., Kwak, H., & Cheon, S. (2015). Kinetic analysis of transesterification of waste pig fat in supercritical alcohols, *Process Safety and Environmental Protection*, 98,239-244, ISSN 0957-5820. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2015.08.002>.
- Singh, K., Kumar, S. P., & Blümich, B. (2019). Monitoring the mechanism and kinetics of a transesterification reaction for the biodiesel production with low field 1H NMR spectroscopy. *Fuel*, 243, 192-201.
- Solarte, J., Cardona, C. (2021). Biorefineries as the base for accomplishing the sustainable development goals (SDGs) and the transition to bioeconomy: Technical aspects,

- challenges and perspectives, *Bioresource Technology*, 340, 125626. ISSN 0960-8524.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125626>.
- Statista. (2022). World production of rapeseed oil from 2004/05 to 2021/22.
<https://www.statista.com/statistics/613487/rapeseed-oil-production-volume-worldwide/>
- Stephens, E., Ross, I. L., Mussnug, J. H., Wagner, L. D., Borowitzka, M. A., Posten, C., ... & Hankamer, B. (2010). Future prospects of microalgal biofuel production systems. *Trends in plant science*, 15(10), 554-564.
- Suali, E., & Sarbatly, R. (2012). Conversion of microalgae to biofuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 4316-4342.
- Teo, S. H., Rashid, U., & Taufiq-Yap, Y. H. (2014). Heterogeneous catalysis of transesterification of *Jatropha curcas* oil over calcium–cerium bimetallic oxide catalyst. *RSC Advances*, 4(90), 48836-48847.
- Ullah, F., Dong, L., Bano, A., Peng, Q & Huang, J. (2016). Current advances in catalysis toward sustainable biodiesel production, *Journal of the Energy Institute*, 89 (2), 282-292. ISSN 1743-9671. <https://doi.org/10.1016/j.joei.2015.01.018>.
- UPME, I. (2015). ATLAS: Potencial Hidroenergético de Colombia. *Bogotá DC Escala*, 1(4.500), 000.
- USDA Foreign Agricultural Service. (2022). Oilseeds: World Markets and Trade.
<https://fas.usda.gov/>
- Villafuerte-Barreto, A. G., Zambrano-Gavilanes, F., & Bravo-Zamora, R. (2022). Evaluación del potencial uso de piñón (*Jatropha curcas* L.) para la generación de biocombustible. *Biotempo*, 19(2), 281-289.
- Wang, B., Wang, B., Shukla, S. K., & Wang, R. (2023). Enabling catalysts for biodiesel production via transesterification. *Catalysts*, 13(4), 740.

Wang, H., Gao, L., Chen, L., Guo, F., & Liu, T. (2019). Integration process of biodiesel production from microalgae with wastewater treatment and CO₂ fixation. *Renewable Energy*, 139, 326-335.

Zhou, Y., Li, K., & Sun, S. (2021). Simultaneous esterification and transesterification of waste phoenix seed oil with a high free fatty acid content using a free lipase catalyst to prepare biodiesel. *Biomass and Bioenergy*, 144, 105930.

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Volumen IV

Colección: Ciencia, Tecnología e Innovación

El libro Investigación y Desarrollo, volumen 4 de la colección Ciencia, Tecnología e Innovación del Fondo Editorial CIIDIES, reúne una selección de investigaciones concluidas realizadas tanto a nivel nacional como internacional, presentadas en el marco del Congreso Internacional "Educación Superior para la Sostenibilidad", Medellín 2024.

Esta obra aborda el papel central de la educación superior en la articulación de diversas áreas del conocimiento, explorando propuestas innovadoras enmarcadas en los ejes temáticos desarrollados por la Red RIISS: innovación, cultura solidaria y sostenibilidad. Se destacan las estrategias de innovación y sostenibilidad como herramientas clave para fortalecer la educación superior, subrayando su impacto en el desarrollo local, regional, nacional e internacional.

Además, el libro presenta investigaciones enfocadas en los procesos de formación orientados a la innovación y la sostenibilidad, ofreciendo propuestas concretas para potenciar capacidades en estos ámbitos. Estas contribuciones evidencian la relevancia de la educación superior como motor de cambio y como plataforma para enfrentar los desafíos contemporáneos.

Dirigido a investigadores, académicos, profesionales y estudiantes, este volumen constituye una valiosa fuente de conocimiento para quienes están interesados en el desarrollo sostenible, la innovación, la cultura solidaria y el fortalecimiento de la educación superior. Sin duda, este libro enriquecerá la comprensión y el debate sobre estos temas fundamentales para el progreso global.



Signatory of



DORA

