



Nanotecnología en la producción de biodiesel

Soria Bravo, Erika Vanessa

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera Petroquímica

Trabajo de Unidad de Integración Curricular, previo a la obtención del título de
Petroquímico

Msc. López Ortega, Jessenia Estefanía

02 de marzo del 2022

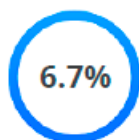
Latacunga

Reporte de verificación de contenido

COPYLEAKS

[UIC_Final_Vanessa Soria.docx](#)

Scanned on: 23:36 February 22, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	200
Words with Minor Changes	0
Paraphrased Words	849
Omitted Words	0





DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE PETROQUÍMICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de unidad de integración curricular “**Nanotecnología en la producción de biodiesel**” fue realizado en su totalidad por la señorita **Soria Bravo, Erika Vanessa** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenidos; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 20 de febrero del 2022



Firmado electrónicamente por:
**JESSENIA
ESTEFANIA LOPEZ
ORTEGA**

MSc. López Ortega, Jessenia Estefanía
C. C.: 1804377347



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE PETROQUÍMICA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Soria Bravo, Erika Vanessa** con cédula de ciudadanía N. 0504077645, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de Unidad de Integración Curricular: “**Nanotecnología en la producción de biodiesel**” es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 20 de febrero de 2022

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Erika Vanessa', is written over a set of horizontal lines.

Soria Bravo, Erika Vanessa

C.C.: 0504077645



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE PETROQUÍMICA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Soria Bravo, Erika Vanessa** con cédula de ciudadanía N. 0504077645, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de Unidad de Integración Curricular: “**Nanotecnología en la producción de biodiesel**”, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 20 de febrero de 2022

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Erika Vanessa', is written over a blue scribble.

Soria Bravo, Erika Vanessa

C.C.: 0504077645

Dedicatoria

Este trabajo de investigación conjuga toda una vida universitaria la cual estuvo llena de diversos momentos malos y buenos, tristes y alegres. En uno de esos momentos casi en la etapa final vi todo venirse abajo y pensé que ya no se iba a poder; sin embargo, aquí está la prueba de que todo es posible mientras haya esperanza.

Es por ello que primeramente lo dedico a Dios.

A mis Padres Víctor Soria y Marianita Bravo por su apoyo incondicional y sin escatimar esfuerzos estuvieron a mi lado.

A mi esposo Germánico Gallardo por brindarme su amor, confianza, paciencia y cariño en todo momento.

A mis princesas Emilia Vanessa y Luz Eliana por su paciencia cuando mamá tenía que realizar sus tareas y dejarlas por momentos, espero poder estar con ustedes en toda su vida ser su apoyo y ver que alcancen sus sueños.

A mis hermanos Alejandra y Víctor Manuel por su apoyo incondicional en todo momento.

Agradecimiento

Mi agradecimiento infinitamente a Dios por brindarme mucha sabiduría e inteligencia para continuar y no darme por vencida.

A mis padres, gracias por su apoyo sé que no fue fácil pero su apoyo y su amor fue mi motivación.

A mi esposo Germánico Gallardo y a mis princesas, nunca dejaron de apoyarme para conseguir mi objetivo y cumplir mi sueño.

A mi hermanita Alejita por darme esos consejos y no darme por vencida.

A mi tutor de tesis Msc. Jessenia López por su paciencia y confianza depositada para poder sacar en adelante este proyecto.

A mis profesores, en especial a Dr. Román Rodríguez por su dedicación y esfuerzo para sacar adelante la Carrera de petroquímica.

Y finalmente Gracias Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Tabla contenidos

Carátula.....	1
Reporte de verificación de contenido.....	3
Certificación.....	2
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Tabla contenidos.....	8
Índice de figuras.....	10
Índice de tablas.....	11
Resumen.....	12
Abstract.....	13
Generalidades.....	14
Antecedentes.....	14
Planteamiento del problema.....	15
Justificación e importancia.....	16
Objetivos.....	17
<i>Objetivo General.....</i>	17
<i>Objetivos específicos.....</i>	17
Hipótesis.....	18
Variables dependientes e independientes.....	18
Fundamentación teórica.....	19
Biomasa.....	19
Biocombustibles.....	20
<i>Biomasa de primera generación.....</i>	21
<i>Biomasa de segunda generación.....</i>	21
<i>Biomasa de tercera generación.....</i>	22
Biodiesel.....	22
<i>Aplicaciones de biodiesel en la industria.....</i>	27
Métodos de producción de Biodiesel.....	35
<i>Microemulsiones.....</i>	35
<i>Craqueo térmico (pirólisis).....</i>	35
<i>Transesterificación.....</i>	36

Nanotecnología.....	38
Nanocatalizadores.....	38
Síntesis y Caracterización de nanocatalizadores.....	39
Metodología.....	43
Introducción.....	43
Tipo de investigación.....	43
<i>Investigación explorativa</i>	43
<i>Investigación descriptiva</i>	44
Diseño de investigación.....	44
<i>Diseño documental</i>	44
Resultados y Discusión.....	46
Biomasa utilizada para la producción de biodiesel.....	46
Análisis de las emisiones a partir del biodiésel.....	49
Biodiesel a partir de biomasa de primera generación.....	56
Biodiesel a partir de biomasa de segunda generación.....	58
Biodiesel a partir de biomasa de tercera generación.....	61
Producción de biodiesel usando nanocatalizadores.....	64
Conclusiones y Recomendaciones.....	71
Conclusiones.....	71
Recomendaciones.....	72
Bibliografía.....	73
Anexos.....	82

Índice de figuras

Figura 1	<i>Biocombustibles de primera, segunda y tercera generación.....</i>	<i>21</i>
Figura 2	<i>Proceso de transesterificación.....</i>	<i>52</i>
Figura 3	<i>Proceso de producción de biodiesel a partir de aceites.....</i>	<i>56</i>

Índice de tablas

Tabla 1	<i>Cuadro comparativo propiedades de diésel versus varios aceites....</i>	23
Tabla 2	<i>Requerimientos de Biodiesel – RTE INEN 2482.....</i>	24
Tabla 3	<i>Propiedades fisicoquímicas del biodiesel según su materia prima....</i>	26
Tabla 4	<i>Biomasa utilizados en la producción de biodiesel.....</i>	55
Tabla 5	<i>Nanocatalizadores utilizados para la producción de biodiesel.....</i>	67

Resumen

El consumo excesivo de recursos petroleros conduce al calentamiento global, al rápido agotamiento de las reservas de petróleo, así como a la inestabilidad de los precios de la gasolina. Por lo tanto, existe la necesidad de utilizar combustibles renovables alternativos para reemplazar los combustibles derivados del petróleo. Las características sorprendentes de un combustible alternativo incluyen la baja huella de carbono, la capacidad de renovación y la asequibilidad a precios manejables. El biodiésel, elaborado a partir de aceites usados, grasas animales y aceites vegetales, es un combustible líquido completamente renovable y no tóxico que tiene una gran demanda en todo el mundo. Gracias a los avances en la química catalítica, el biodiésel se puede producir a partir de una amplia variedad de materias primas utilizando una variedad de catalizadores y técnicas de recuperación. Recientemente, se han realizado avances innovadores en la nanotecnología que muestra la correlación simétrica con la producción de biodiesel de costo competitivo. Los nanocatalizadores tienen propiedades únicas como su reactividad selectiva, alta energía de activación, velocidad de reacción controlada, fácil recuperación y reciclabilidad. Aquí le ofrecemos una descripción general de las diferentes materias primas utilizadas en la producción de biodiesel, su composición y características. El objetivo principal de esta revisión de la literatura es evaluar el desempeño de los nanocatalizadores, su impacto en la producción de biodiesel y los métodos de producción de biocombustibles.

Palabras clave

- **BIOMASA**
- **BIODIESEL**

- **NANOCATALIZADORES**

Abstract

Excessive consumption of oil resources leads to global warming, rapid depletion of oil reserves, as well as instability in gasoline prices. Therefore, there is a need to use alternative renewable fuels to replace petroleum-derived fuels. Amazing features of an alternative fuel include low carbon footprint, renewability, and affordability at manageable prices. Biodiesel, made from used oils, animal fats and vegetable oils, is a totally renewable and non-toxic liquid fuel that has gained great attraction in the world. Due to technological advances in catalytic chemistry, biodiesel can be produced from a variety of feedstocks using various catalysts and recovery technologies. Recently, innovative advances have been made in nanotechnology showing the symmetric correlation with cost-competitive biodiesel production. Nanocatalysts have unique properties such as their selective reactivity, high activation energy, controlled reaction rate, easy recovery, and recyclability. Here, we present an overview of various feedstocks used for biodiesel production, their composition and characteristics. The main focus of this literature review was to evaluate the performance of nanocatalysts, their effect on biodiesel production, and biofuel production methodologies.

Keywords

- **BIOMASS**

- **BIODIESEL**

- **NANOCATALYSTS**

Capítulo I

Generalidades

Antecedentes

Por la subida de los precios de petróleo crudo, la contaminación ambiental y los limitados recursos de petróleo fósiles se ha enfocado a la implementación de aceites vegetales y grasas animales para fabricar biocombustibles, la utilización constante y creciente de petróleo intensifica la contaminación del aire local y magnifica los inconvenientes de cambio climático provocados por el CO_2 (Griffin, 1993). En un caso particular, como la emisión de contaminantes en los ambientes cerrados de las minas subterráneas, el combustible biodiesel tiene el potencial de minimizar el grado de contaminantes y de carcinógenos potenciales (McLean & Kates, 2003).

El biodiesel es conocido como un combustible verde producido a través de diferentes procesos como: pirólisis, emulsión o transesterificación; el proceso más utilizado en la industria es la transesterificación en el cual se utiliza aceite y metanol junto con catalizadores tanto homogéneos como heterogéneos. El uso de catalizadores homogéneos crea obstáculos tales como el problema de separar el catalizador de la mezcla, y para superar estos obstáculos existe un factor en el uso de catalizadores heterogéneos para la síntesis de biodiesel.

Pero los catalizadores poseen inconvenientes como; resistencia a la transferencia de masa, consumo de tiempo, desactivación rápida, ineficiencia del proceso catalítico y causa contaminación ambiental; sin embargo, dichos inconvenientes tienen la posibilidad de mitigarse utilizando partículas de tamaño manométrico, estas partículas con una determinada área de superficie,

la actividad catalítica y la selectividad pueden resolver la mayoría de estas complicaciones que surgen en la reacción de transesterificación, utilizando dichas partículas se obtiene mejor calidad en el producto y condiciones óptimas de funcionamiento en dicho proceso (Pandya et al., 2019).

Planteamiento del problema

La producción de biodiesel se ha incrementado en los últimos años debido a sus beneficios ambientales y al hecho de que se produce a partir de recursos renovables. Los desafíos restantes son su costo y la disponibilidad reducida de recursos renovables: aceites vegetales, grasas animales, grasas animales y aceites de microalgas que conlleva dos aspectos del costo del biodiesel, la materia prima que representa del 60 al 75% y el procesamiento y un recurso para minimizar los precios en materia prima que es el uso de aceite de cocina usado (McClean & Kates, 2003). En términos de costo de producción, además hay dos puntos, el proceso de transesterificación y la recuperación de subproductos (glicerol). Las bases de este proceso son en menor tiempo de reacción y una mayor capacidad de producción. La recuperación de glicerol de alta calidad es otra forma de reducir los costos de producción (Ma & Hanna, 1999).

Los nanocatalizadores utilizados en diversas reacciones químicas para producir biodiesel tienen ventajas sobre los catalizadores debido a su actividad catalítica y selectividad. Las nanopartículas reducen los costos y el catalizador es fácil de reciclar, lo que le permite operar en un amplio rango de temperaturas, aumentando las velocidades de reacción y el rendimiento final (Pantoja, 2018).

Justificación e importancia

Este estudio se centrará en estudios de literatura sobre nanocatalizadores para la producción de biodiesel. El tema de los combustibles biodegradables como el biodiesel se ha vuelto muy popular debido a sus beneficios ambientales ya que es un biocombustible más limpio derivado de lípidos naturales, lo que reduce la contaminación durante la producción de combustibles fósiles. Gases: CO_2 , SO_2 , CO , HC , son los causantes del 80% del consumo mundial de energía (Becerra & Soto, 2015).

La ventaja más obvia del biodiesel es que es una sustancia biodegradable, no explosiva, no inflamable, renovable, no tóxica y su combustión da como resultado bajas emisiones de gases de efecto invernadero y bajas emisiones de partículas. (Mo et al., 2016). Además, tiene un número de cetano más alto, un punto de inflamación y mejores propiedades lubricantes sin cambiar el calor de combustión en comparación con los motores diésel de combustibles fósiles (Singh et al., 2019). Sin embargo, cuando se usa como combustible, se requiere tratamiento para reducir la alta viscosidad y los altos niveles de ácidos grasos que pueden formar goma, depósitos de carbón y/o polimerización durante la combustión y el almacenamiento (Fukuda et al., 2001).

Debido a sus propiedades ópticas, electrónicas, magnéticas y catalíticas, las nanopartículas se pueden personalizar variando su tamaño, forma o función superficial sin cambiar la composición del material. Hasta la fecha, se han logrado avances considerables en las estrategias para sintetizar nanopartículas de alta calidad utilizando una amplia gama de materiales inorgánicos, incluidos oro, plata, óxidos de hierro y semiconductores. El control de las condiciones de síntesis permite un control razonable de la morfología de

las partículas y proporciona medios para ajustar las propiedades del material durante la síntesis. Otro aspecto fundamental de la síntesis de nanopartículas es su estabilidad, lo que les permite conservar su tamaño y forma a lo largo del tiempo (Daniel & Astruc, 2004).

Las nanopartículas a menudo se describen como átomos debido a sus propiedades físicas y químicas únicas. Los avances en síntesis han hecho posible controlar con precisión los parámetros estructurales que gobiernan la formación de nanopartículas, ayudando a adaptar las propiedades de estos átomos artificiales a su aplicación específica. La síntesis y ensamblaje modular de nanopartículas permite el uso de sus propiedades únicas que podrían dar lugar a nuevas aplicaciones en catálisis, electrónica, fotónica, magnetismo, detección química y biológica. (Alivisatos, 1996).

Por lo anterior, se considera importante estudiar métodos de investigación de nanopartículas para la producción de biodiesel, comparando el desempeño de diferentes sustratos con los métodos tradicionales, fomentando así la relación entre el cuidado del medio ambiente para un futuro más sustentable, optimizar los procesos con el apoyo a la carrera Petroquímica.

Objetivos

Objetivo General

Estudiar la nanotecnología utilizada en la producción de biodiesel.

Objetivos específicos

- Realizar una revisión bibliográfica de la biomasa utilizada en la producción de biodiesel.

- Realizar la investigación bibliográfica de los nanocatalizadores utilizados en la producción de biodiesel.
- Comparar el rendimiento de producción de biodiesel obtenido al utilizar los nanocatalizadores frente a métodos aplicados en la industria.

Hipótesis

El uso de nanopartículas mejora el rendimiento producción de biodiesel versus los métodos convencionales.

Variables dependientes e independientes

Variables dependientes

Nanopartículas

Variables independientes

Procesos de producción de biodiesel

Capítulo II

Fundamentación teórica

Biomasa

Diferentes autores y diferentes disciplinas utilizan una variedad de criterios, consideraciones, nombres y nomenclatura para definir diferentes clasificaciones para la biomasa existente. Así, las clasificaciones generales de biomasa suelen diferir en estructura y nomenclatura, dependiendo del autor, por ejemplo, pueden basarse en propiedades específicas del material, origen o uso final (Nogués et al., 2010).

La biomasa es una forma de energía renovable, en cuanto a fuentes de energía, debido a que la tecnología requerida para que exista en el mercado y su menor costo en comparación con otras fuentes de energía alternativa, tiene un mayor potencial de desarrollo. Se define como un conjunto de materia orgánica depositada por un organismo en un lugar determinado. También es una colección de sustancias orgánicas renovables de origen vegetal, animal o procesado naturalmente (Cabello, 2006).

La biomasa se puede dividir en primaria y secundaria. La biomasa primaria se obtiene directamente de los ecosistemas naturales para su aprovechamiento energético. La biomasa secundaria, también conocida como residuo, se obtiene como residuo o subproducto de las actividades humanas. Podemos decir el tercer tipo de biomasa, es decir, un producto que se trata antes del uso final de la energía. Esto sucederá con el biogás obtenido de la fermentación de biomasa sobrante, biodiésel o bioalcohol o pellets y briquetas. Ambos son combustibles finales obtenidos en plantas que convierten la biomasa de fuentes primarias o secundarias en un producto final que, según

los criterios establecidos, puede denominarse biomasa terciaria, aunque este es el término que se utiliza en la actualidad (Nogués et al., 2010).

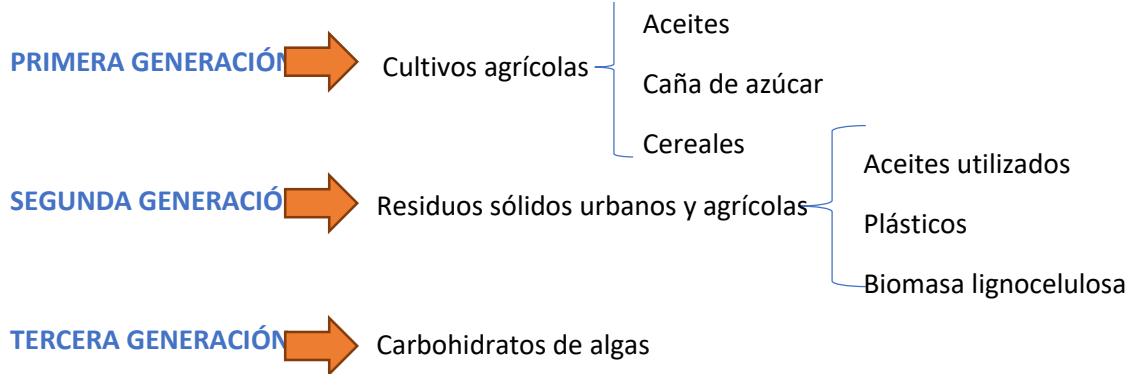
Biocombustibles

Los biocombustibles están demostrando ser una de las alternativas ecológicas a los combustibles fósiles (Pantoja, 2018). En la figura 1 se resumen los combustibles de primera, segunda y tercera generación.

El término "biocombustible" se refiere a combustibles líquidos o gaseosos que se producen principalmente a partir de biomasa y pueden considerarse de primera, segunda y tercera generación. Se diferencian en que estos biocombustibles de primera generación se obtienen a partir de fuentes de conversión primaria, es decir, se convierten en alcoholes biocombustibles por fermentación, si las plantas originales son ricas en azúcar o si son derivados de plantas ricas en grasas o aceites, el biodiésel se obtiene por compresión. y transesterificación del proceso de separación. Los biocombustibles de segunda generación, por su parte, se producen a partir de materias primas no alimentarias, como residuos agrícolas o forestales, con alto contenido en celulosa, hemicelulosa y lignina y se obtienen mediante el proceso de transformación bioquímica o termoquímica de los biocombustibles. Finalmente, los biocombustibles de tercera generación se producen a partir de materias primas modificadas genéticamente o de organismos que pueden utilizar la energía solar y el dióxido de carbono para producir su propio alimento, como las algas, a gran escala. (Demirbas, 2008a)

Figura 1

Biocombustibles de primera, segunda y tercera generación.



Nota. El gráfico representa las materias primas para elaborar biocombustibles de primera, segunda y tercera generación. Tomado de From biomass to second generation biofuels (Faba et al., 2014).

Biomasa de primera generación

Los llamados biocombustibles convencionales se fabrican a partir de cultivos alimentarios. Ejemplos de tales combustibles son los combustibles hechos de soya o palmeras, ninguno de los cuales se sospecha que sea amigable con el medio ambiente. Desafortunadamente, la mayoría de los biocombustibles que usamos hoy en día son biocombustibles de primera generación.

Biomasa de segunda generación

Estos biocombustibles están hechos de biomasa derivada de materiales vegetales (árboles de madera, subproductos agrícolas o desechos vegetales de cultivos alimentarios que se han utilizado para producir alimentos) o animales (su grasa). En el caso de las hortalizas, a diferencia de la primera generación, el uso principal del cultivo no era combustible, sino que se utilizaba aceite (girasol, oliva) en cocinas familiares, bares y restaurantes para generar combustible. Reciclaje. Todavía queda muy poco de este biodiésel en nuestros tanques de almacenamiento, pero es más sostenible que la primera

generación porque las tierras de cultivo no están dedicadas a este fin y damos lo que consideramos residuos en la segunda vida.

Biomasa de tercera generación

Estos biocombustibles se obtendrán de algas con un contenido de aceite natural de al menos el 50%. Decimos condicional, porque la producción de este combustible aún no está a escala comercial. (Nogués et al., 2010).

Biodiesel

El biodiesel se puede definir como un combustible alternativo producido a partir de grasas animales, aceites vegetales, sin usar o sin quemar. La preparación se lleva a cabo mediante una reacción química conocida como transesterificación u otro método conocido como esterificación. El producto final se mezcla con alcohol (generalmente metanol) y puede usarse para vehículos en ciertas proporciones, por ejemplo, biodiesel o después de alguna modificación del motor. (Khademi, 2014).

El proceso de producción de biodiesel parte del aceite vegetal o grasa animal y se somete a una transesterificación para obtener biodiesel y un subproducto llamado glicerol. Este último se utiliza como desengrasante soluble de maquinaria y herramientas, alimentos balanceados, jabones, edulcorantes o grasas animales, junto con alcoholes ligeros y catalizadores. Después del período de reposo, el biodiesel y el glicerol se separaron por decantación. Si el biodiésel resultante se procesa correctamente, es suficiente filtrarlo antes de usarlo y puede almacenarse como combustible diésel (Ma & Hanna, 1999).

Hoy en día, todas las formas de producción de energía tienen algún impacto en el medio ambiente, pero también son menos dañinas, como los biocombustibles como el biodiesel, que son biodegradables, ecológicos, no

tóxicos y bajos en carbono. Posee una alta densidad energética, es decir, alto poder calorífico, es un líquido, de fácil almacenamiento y transporte, no inflamable ni explosivo, es el único combustible líquido suministrado directamente de la naturaleza y no requiere de procesos complejos (Cabello, 2006).

El biodiesel es un combustible de color amarillo a café claro, su origen es muy variado y va desde aceites y azúcares conocidos como la primera generación, hierbas o materiales naturales pertenecientes a la segunda generación, hierbas a partir de algas o referentes de tercera generación, en base a esto hay estudios que demuestran que las propiedades del diésel y distintos aceites vegetales varían y pueden mejorar de acuerdo a la materia prima que sea usada como se muestra a continuación. La tabla 1 compara diferentes materias primas de biodiesel. (Pantoja, 2018).

Tabla 1

Cuadro comparativo propiedades de diésel versus varios aceites.

Propiedades	Diesel de Petróleo	Aceite de Girasol	Éster metílico de girasol	Aceite de colza	Éster metílico de colza
Densidad (15°C) [kg/l]	0.84	0.92	0.89	0.9	0.833
Punto de ignición [°C]	63	215	183	200	153
Viscosidad cinemática [mm²/s]	3.2	35	4.2	39	4.8
Número de cetano	45-50	33	47-51	35-40	52
Calor de combustión [MJ/kg]	44	39.5	40	-	40
Punto de enturbiamiento [°C]	0	-6.6-	3	-3	-3

Propiedades	Diesel de Petróleo	Aceite de Girasol	Éster metílico de girasol	Aceite de colza	Éster metílico de colza
Azufre [%peso]	0.3	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Residuo de carbón [%peso]	0.2	0.42	-	-	-

Nota. En la tabla 1 se compara las propiedades de diésel de petróleo versus diferentes aceites. Tomado de (Pantoja, 2018).

Es necesario que no sólo exista biocombustible, sino que el mismo cumpla con los requerimientos establecidos dentro de la norma NTE INEN 2482 “Biodiesel Requisitos” que rige el territorio nacional, estos requerimientos se resumen en la tabla 2.

2.3.1 Propiedades Fisicoquímicas del biodiesel

Tabla 2

Requerimientos de Biodiesel – RTE INEN 2482.

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Métodos de ensayo
Densidad a 15°C	Kg/m ³	860	900	ASTM D 1298
Punto de inflamación	°C	120	---	ASTM D 93
φ Agua y sedimento	%	---	0.05	ASTM D 2709
Contenido de agua	mg/kg	---	500	ASTM 95
Viscosidad cinemática a 40 °C	mm ² /s	3.5	5	ASTM 445
Cenizas sulfatadas	%(m/m)	---	10	ASTM D 874

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Métodos de ensayo
Contenido de azufre	mg/kg	---	10	ASTM 5453
W Carbón residual 1	%	---	0.05	ASTMA D 4530
Corrosión lámina de cobre	Clasificación	---	3	ASTM 130
Número de cetano	-	49	---	ASTM D 613
Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Métodos de ensayo
Temperatura de destilación al 90% recuperado	°C	---	360	ASTM D 1160
W glicerina libre	%	---	0.02	ASTM D 6584
W glicerina total	%	---	0.25	ASTM D 6584
W contenido de ésteres 2	%	96.5	---	En 14103
Índice de yodo	G yodo/100g	---	120	EN 14111
W contenido de metanol/etanol	%	---	0.2	EN 14110
Contenido de fósforo	mg/kg	---	10	ASTM D 4951
Contenido de metales alcalinos (Na+K)	mg/kg	---	5	EN 14538

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Métodos de ensayo
Contenido de metales alcalinos (Ca+Mg)	mg/kg	---	0.5	ASTM D14538
Número de acidez	mgKOH/g	---	0.5	ASTM 664
Estabilidad de oxidación	Horas	6		EN15751
Contaminación total	mg/kg		Reportar	EN12662
Contenido de monoglicéridos	%(m/m)		0.4	ASTM D 6584
Contenido de diglicéridos	%(m/m)		0.4	ASTM D 6584
Contenido de triglicéridos	%(m/m)		0.1	ASTM D 6584
Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Métodos de ensayo
Contenido de éster metílico de ácido linolénico	% en masa		12	EN 14103
Punto de nube	°C	Reportar		ASTM D 2500
Punto de fluidez	°C	Reportar		ASTM D 97
Temperatura de obturación del filtro frío (CFPP)	°C	Reportar		ASTM D 6371

Nota. En la tabla 2 se presenta las propiedades fisicoquímicas del biodiesel con respecto a la norma INEN 2442. Tomado de (Pantoja, 2018).-

Hay varios parámetros que definen la calidad del biodiesel y los mismos deben ser comparados con valores ya establecidos por organismos de normalización internacionales como la ASTM en EEUU o su equivalente el CEN (Comité Europeo de Normalización) en Europa, si bien cada prueba de la norma resalta la importancia del biodiesel en un campo específico, se consideran de mayor importancia.

El biodiesel es un combustible líquido producido a partir de recursos. Contiene ésteres monoalquílicos renovables con cadenas hidrocarbonadas de 14 a 22 carbonos, capaces de combustión completa en motores diesel convencionales (Vicente Crespo et al, 2001).

Dependiendo de la materia prima, el biodiesel tiene diferentes nombres:

- RME: éster metílico de colza
- SME: éster metílico de soja/girasol
- PME: éster metílico de palma
- FAME: éster metílico de ácido graso, generalmente referido a otro vegetal o desecho de aceites de cocina

El biodiésel normalmente contiene hasta catorce tipos diferentes de FAME. Sus cantidades relativas influyen en gran medida en las propiedades del biodiésel resultante. Por ejemplo, un alto contenido de ácidos grasos saturados en la materia prima cruda (es decir, ácidos mirístico, palmítico, esteárico) aumenta la turbidez y el número de cetano, disminuye las emisiones de NO_x y muestra una mejor estabilidad. Además, una proporción alta de

ácidos grasos poliinsaturados (es decir, ácidos linoleicos o linolénicos) tiene el efecto contrario (Ma y Hanna, 1999).

Tabla 3

Propiedades fisicoquímicas del biodiesel según su materia prima

Metil de éster de aceite	Viscosidad Cinemática (-10m²/s)	Número de cetano	Energía térmica	Punto de fusión (°C)	Punto de inflamabilidad	Densidad	Contenido de azufre
Babasú	3.6 (37.8 °C)	63	31.8	4	127	879	
Maiz	6.2(30°C)	63.9	42.3		166	884	0.0013
Diesel	2.8(30°C)	58	42.7		59	833	0.05
Oliva (1)	5.7(37.8°C)	62	33.5	13	164	880	
Oliva(2)	4.4(40°C)	64.3-70	32.4			875	
Maní	4.9(37.8°C)	54	33.6	5	176	883	
Colza usada	9.5(30°C)	53	36.7		192	895	0.002
colza	4.2(40°C)	51-59.7	32.8			882	
Soja(1)	4.5(37.8°C)	45	33.5	1	178	885	
Soja(2)	4.0(40°C)	45.7-56	32.7			880	
Girasol	4.6(37.8°C)	49	33.5	1	183	860	

Nota. En la tabla 3 se obtuvo una las propiedades fisicoquímicas del biodiésel a partir de diferentes materias primas. Tomado de (Singh et al., 2019).

Aplicaciones de biodiesel en la industria

Actualmente, los países están investigando y trabajando hacia combustibles más limpios como una opción para el desarrollo económico, la seguridad energética y la acción regulatoria para remediar el daño ambiental causado por el uso de combustibles fósiles. Los biocombustibles son un mecanismo para reducir las emisiones de CO_2 y otros gases de efecto invernadero; Además, gracias a la producción agrícola concentrada para acceder a materias primas para la producción de biocombustibles, se potencia la agricultura, se crean puestos de trabajo y se crea la industria de cultivos directa o indirectamente.

Teniendo en cuenta factores de sustentabilidad, el desarrollo de biocombustibles a base de materias primas agrícolas como el maíz, la caña de azúcar y la palma aceitera ha crecido exponencialmente en la última década, especialmente en la Unión Europea, Australia y el continente americano, incluidos Estados Unidos, Brasil y Argentina (Mofijur et al., 2016).

En particular, el biodiésel utilizado como combustible tiene propiedades fisicoquímicas que cumplen las normas UNE EN 14214 y ASTM D6751. El biodiésel suele mezclarse con combustibles diésel fósiles, el más común de los cuales es la mezcla B20 (20 % de biodiésel y 80 % de diésel). Aunque algunos países usan una proporción de mezcla más alta como B30 y B100 puros.(Cedeño, 2017)

Actualmente, la capacidad de producción de biodiesel está aumentando rápidamente, con una tasa de crecimiento anual promedio de más del 40% en 4 años. La producción total de biodiesel en el mundo es de aproximadamente 500-600 millones de toneladas, de las cuales 4,9 millones de toneladas se procesan en Europa (de las cuales 2,7 millones de toneladas

proviene de Alemania) y la mayor parte del resto proviene de los Estados Unidos. La producción europea aumentó a 7,8 millones de toneladas. En julio de 2017, EE. UU. impuso aranceles a las importaciones de biodiésel en la UE para contrarrestar la competencia de los productores europeos, especialmente los productores alemanes. La capacidad en Europa es de 16 millones de toneladas. En comparación, la demanda de diesel en los EE. UU. y Europa combinados es de aproximadamente 490 millones de toneladas (147 mil millones de galones). A partir de 2018, Indonesia es el principal proveedor mundial de biocombustible de aceite de palma con una producción anual de 3,5 millones de toneladas y se espera que exporte alrededor de 1 millón de toneladas de biodiésel.

La producción de biodiesel en los EE. UU. ha llevado a la industria a un nuevo hito. Las plantas de biodiesel han estado monitoreando la producción y registrando objetivos contra la demanda agregada como se describe en el estándar de combustible renovable de la EPA. Según los datos de la EPA publicados a finales de este año, la producción de biodiesel superó los mil millones de galones en 2019. Esta producción supera con creces el objetivo de 800 millones de galones establecido por la EPA. La producción estimada para 2020-25 es cercana a los 12 mil millones de galones (Singh et al., 2019).

El mayor productor mundial de biocombustibles es Estados Unidos, que produjo 38 millones de toneladas de energía equivalente a petróleo (TEP) en 2018, seguido de Brasil con 21 millones de toneladas. Cabe destacar que los biocombustibles se obtienen principalmente de la soja, el maíz y el trigo (biocombustibles de primera generación).

EE.UU. y Brasil han desarrollado políticas públicas estratégicas para promover el desarrollo de tecnología de biocombustibles y mercados de comercialización; Varios países sudamericanos como Argentina, Uruguay,

Colombia y Perú se han adaptado a estas iniciativas, transformando sus operaciones productivas a los desafíos específicos que enfrenta el país.

Viabilidad del biodiesel en Ecuador

En el año 2014, el petróleo representó el 83% de la fuente energética del Ecuador, en el año 2015, el total de combustibles líquidos estaba repartido en las siguientes categorías: el diésel representaba el 47% del total de combustibles, seguido por la gasolina extra con el 42% y el remanente era atribuido a la gasolina súper.

Las importaciones del Ecuador en el año 2015, representaban el 39.6% y el 43.3%, del total de la oferta de combustibles líquidos, para el diésel y la gasolina respectivamente.

La palma africana tenemos que existen 207.285,31 hectáreas que están ubicadas en cuatro bloques definidos como los bloques Occidental, San Lorenzo, Guayas y Oriental. Según el Censo Nacional de Plantaciones, el 83% de tierras destinada a la producción de este producto agrícola se encuentran localizadas en el bloque Occidental. De acuerdo a Fedapal, para el año 2018 se estimaba que la producción de aceite de palma estaría alrededor de 360.000 toneladas métricas. Para ese año se proyectaba que el 55% sería destinado al consumo interno mientras que el remanente serviría para la exportación (Domínguez & Espinel, 2009).

Métodos de producción de Biodiesel

Hay cuatro formas principales de producir biodiésel, uso directo y mezcla, microemulsiones, craqueo térmico (pirólisis) y transesterificación (Pandya et al., 2019).

Microemulsiones

Para solucionar el problema de la alta viscosidad de los aceites vegetales, se han estudiado microemulsiones utilizando disolventes como metanol, etanol y 1-butanol. Una microemulsión se define como una dispersión isotrópica, transparente y termodinámicamente estable (aceite, agua, surfactante, generalmente una pequeña molécula conocida como co-surfactante). Este proceso puede producir combustible de baja viscosidad, pero el combustible no se inyecta en el motor de manera efectiva, lo que da como resultado una combustión incompleta (Schwab y col., 1987).

Craqueo térmico (pirólisis)

La pirólisis es la transformación de una sustancia en otra mediante calentamiento (a veces con la ayuda de un catalizador). Implica calentar y romper enlaces químicos en ausencia de aire u oxígeno para crear moléculas pequeñas. (Weisz et al., 1979). La química de la pirólisis es difícil de determinar debido a la variedad de vías de reacción y la variedad de productos de reacción que se pueden obtener de las reacciones que tienen lugar. Los materiales de pirólisis pueden ser aceites vegetales, grasas animales, ácidos grasos naturales y ésteres metílicos de ácidos grasos. El craqueo térmico de grasas se ha estudiado durante más de 100 años, especialmente en áreas del mundo donde las reservas de petróleo son escasas. La primera pirólisis de

aceites vegetales se basó en la síntesis de crudo a partir de aceites vegetales. Desde la Primera Guerra Mundial, muchos investigadores han estudiado la pirólisis de aceites vegetales para obtener productos combustibles. En 1947, se documentó un craqueo térmico a gran escala de jabón de calcio con aceite de tung. El aceite de tung se saponifica primero con cal, luego se trata térmicamente para producir petróleo crudo y luego se refina para producir diesel y algo de gasolina y queroseno. A partir de 68 kg de jabón petroquímico de tungsteno se pueden producir 50 litros de petróleo crudo. Según Grossley (1962), estudiaron el efecto de la temperatura sobre el tipo de producto obtenido a partir de glicerol calentado. Los catalizadores, principalmente sales metálicas, se han utilizado en muchos estudios para obtener olefinas similares a las de las aguas residuales del petróleo.

Transesterificación

La transesterificación también llamada alcoholólisis es la acción de una grasa o aceite con un alcohol para formar ésteres y glicerol. La reacción se muestra en la Figura 1 donde un catalizador mejora la velocidad de reacción reversible y el rendimiento, se usa un exceso de alcohol para desplazar el equilibrio hacia el lado de los productos (Ma & Hanna, n.d.).

Los alcoholes son monohídricos primarios y secundarios alcoholes ipáticos que tienen 1 ± 8 átomos de carbono, entre los alcoholes que se pueden utilizar en el proceso de transesterificación con: metanol, etanol, propanol, butanol y alcohol amílico. Metanol y etanol se utilizan con mayor frecuencia, especialmente el metanol debido a su bajo costo y sus ventajas físicas y químicas (alcohol polar y de cadena más corta). Puede reaccionar rápidamente con triglicéridos y NaOH. Para completar una transesterificación estequiométrica, un 3:1, se necesita una relación molar de alcohol a

triglicéridos. En práctica, la relación debe ser mayor para impulsar el equilibrio a un rendimiento máximo de éster. La reacción puede ser catalizada por una base, un ácido o una enzima. Los álcalis en incluir NaOH, KOH, carbonatos y los correspondientes son alcóxidos de sodio y potasio como metóxido de sodio, etóxido de sodio, propóxido de sodio, butóxido de sodio, ácido sulfúrico, ácidos sulfónicos e hidrógenos. El ácido clorhídrico se usa comúnmente como un catalizador ácido. Las lipasas también se pueden utilizar como biocatalizadores, la transesterificación es mucho más rápida que la catalizada por ácido y se utiliza con mayor frecuencia comercialmente.

Para la transesterificación catalizada por bases, el azúcar en la sangre y el alcohol deben ser esencialmente anhidros (Wright et al., 1944). porque el agua hace que la reacción cambie parcialmente a la saponificación que produce jabón. El jabón reduce el rendimiento de ésteres y hace que la separación de éster y glicerol sea más difícil. La transesterificación catalizada por bases requiere niveles bajos de ácidos grasos libres en los triglicéridos que contienen agua y ácidos grasos libres. Puede usarse conversión catalítica (Keim, 1945).

El producto después de la reacción trans de los triglicéridos es una mezcla de ésteres, glicerol, alcoholes, catalizadores y triglicéridos, diglicéridos y monoglicéridos. Los monoglicéridos provocaron turbidez (cristales) en la mezcla de ésteres. El problema era muy obvio, especialmente para transesterificación de grasas animales como el sebo de vacuno. Por otra parte, hay una gran proporción de ésteres de ácidos grasos saturados en ésteres de sebo bovino (casi 50% p / p). Esta porción hace que los puntos de fluidez sean más altos que los de ésteres de aceite vegetal. Sin embargo, los componentes saturados tienen otras aplicaciones de valor agregado en alimentos, detergentes y cosméticos (Ma & Hanna, 1999).

Nanotecnología

La nanotecnología es un nuevo campo de investigación de materiales donde diferentes ramas del conocimiento se unen para estudiar fenómenos sin precedentes a nivel atómico y molecular. La importancia de la nanotecnología radica en que en el nanomundo los materiales pueden adquirir o ejercer otras propiedades a escala macroscópica. Han surgido varias aplicaciones prácticas de la nanotecnología y se esperan muchas y es necesario evaluar su impacto.

La nanotecnología es el diseño, la caracterización y la aplicación de estructuras, dispositivos y sistemas complejos mediante el control de la forma, el tamaño y las propiedades de la materia a nanoescala.

Nanocatalizadores

La producción de nanopartículas es incluso más ambiciosa que producir micropartículas de dimensiones controladas. Se han propuesto varias definiciones revisando las aplicaciones nanotecnológicas de super-fluidos críticos, discutieron las diversas definiciones de nanopartículas y seleccionó 200 nm como la dimensión máxima para la definición de nanopartículas (Reverchon et al., 2007).

Las nanopartículas son reconocidas por tener propiedades físicas y químicas extremadamente diferentes y en muchos casos se ha mejorado considerablemente la reactividad y la selectividad. A medida que disminuye el tamaño de las nanopartículas, aumenta la relación superficie/volumen subsecuente en un mayor número de átomos de baja coordinación que se pueden obtener en la superficie que son extremadamente activos para la interacción con adsorbatos químicos, por lo que la frecuencia de rotación, que

es una medida de la actividad del sitio catalítico aumenta a medida que el sitio activo aumenta en la superficie (Pandya et al., 2019).

Síntesis y Caracterización de nanocatalizadores

El control de las condiciones de síntesis permite un control razonable del tamaño y la forma de las partículas y proporciona medios para adaptar las propiedades del material a aplicaciones específicas.

Las nanopartículas se pueden sintetizar por métodos físicos (la evaporación térmica, la aglomeración de gases, la implantación de iones, la deposición química de vapor y la activación o mezcla mecánica) y métodos químicos (métodos coloidales, fotoquímicos y radiactivos, irradiación de microondas, aplicación de dendrímeros, síntesis solvotérmica, métodos sol-gel). Además, estas partículas pueden estar sobre soportes (principalmente óxidos) (Daniel & Astruc, 2004).

Métodos Físicos

- **La evaporación térmica:** Se trata de calentar para evaporar el material a depositar. Se lleva a cabo en una cámara de vacío donde el vapor de agua se condensa en una placa fría, y las condiciones de crecimiento deben controlarse cuidadosamente en todo momento para que la morfología de la deposición permanezca inalterada (Nano, 2012).
- **El depósito químico en fase vapor:** Implica la descomposición de uno o más compuestos volátiles en una cámara de vacío (reactor), sobre o cerca de una superficie sólida, para formar un material en forma de capas delgadas o nanopartículas (Nano, 2012).
- **La preparación de clusters gaseosos:** Los láseres pulsados de alta potencia se utilizan para generar pares de átomos de metal, que se

transportan en un gas inerte y luego se depositan en cristales de óxido simple u otros sustratos en condiciones de vacío ultra alto.

- **La implantación de iones:** Incluye el hecho de que los iones de un material pueden implantarse en un sólido, cambiando así las propiedades físicas y químicas del sólido, porque los iones implantados pueden ser un elemento diferente de los iones a partir de los cuales se produce, y por lo tanto también pueden causar cambios estructurales en el sólido implantado, ya que la estructura cristalina del objetivo puede ser destruida.
- **La molienda:** Las macropartículas y las micropartículas se trituran en un molino de alto rendimiento, las partículas resultantes se clasifican físicamente y las partículas de tamaño nanométrico se recuperan. Debido a la alta energía y la molienda continua del material de partida, se puede concluir que la energía del sólido cambia, debido a la acumulación de defectos en una situación desequilibrada, lo que conduce a una disminución de la energía de activación y activado, el sólido da lugar a reacciones químicas en estado sólido.

Métodos Químicos

- **El método coloidal:** Consiste en disolver la sal del precursor metálico o el óxido resultante, el reductor y el estabilizador en fase continua o dispersa (en este caso, líquida). Este último puede actuar como reductor de velocidad, estabilizador o ambos. En principio, el tamaño medio, la distribución de tamaños y la forma o morfología de las nanopartículas se pueden controlar variando las concentraciones de los reactivos, agentes reductores y estabilizadores, así como las características del medio distribuido. De esta forma, se pueden formar dispersiones estables durante mucho tiempo.

- **Reducción fotoquímica y radioquímica:** La reducción fotoquímica (fotólisis) y la descomposición química (desintegración radiactiva) difieren en la cantidad de energía utilizada. La fotosíntesis tiene energías por debajo de 60 eV, mientras que la radiólisis usa energías entre 10³-10⁴ eV. El método de reducción fotoquímica y el método de reducción radiactiva son superiores al método de reducción química.
- **Irradiación con microondas:** La técnica de irradiación con microondas produce nanopartículas con una dispersión de tamaño muy pequeño, aunque no siempre es posible un control morfológico preciso, como ocurre con la mayoría de las técnicas 'de abajo hacia arriba'. Las microondas actúan como campos eléctricos de alta frecuencia capaces de calentar cualquier material cargado eléctricamente, como moléculas polares en solventes o iones conductores en sólidos.
- **Utilización de dendrímeros:** Los dendrímeros son moléculas multiramificadas que contienen un núcleo central, unidades intermedias repetidas y grupos funcionales terminales. Los dendrímeros representan una nueva clase de macromoléculas que combinan el alto peso molecular y la baja viscosidad de una solución con la presencia de su forma molecular tridimensional y estructura tridimensional. Los dendrímeros varían en tamaño de 2 a 15 nm y representan reacciones naturales a nanoescala. Las dendritas con un pequeño número de unidades intermedias existen en forma "abierta", mientras que las dendritas que contienen muchas unidades forman una estructura esférica tridimensional.
- **Síntesis solvotermal:** El líquido habitual es el agua, de ahí el nombre de "síntesis hidrotérmica", pero cada vez se utilizan más otros medios líquidos: disolventes orgánicos, amoníaco líquido, hidracina, etc., y luego tratamos la síntesis por disolventes. Con este tipo de tecnología, el tiempo de reacción suele ser largo (en comparación con otros métodos químicos). La

síntesis hidrotermal se refiere a reacciones heterogéneas en medios acuosos por encima de 100°C y 1 bar (Nano, 2012).

- **Método sol-gel:** Este es un proceso químico de fase húmeda ampliamente utilizado en la ciencia de los materiales. Este método se utiliza principalmente para producir nanomateriales (normalmente óxidos metálicos). Comienza con una solución química o sol que actúa como precursor de una red integrada de partículas discretas o redes de polímeros. Los precursores típicos de los procesos sol-gel son los alcóxidos metálicos y los cloruros metálicos, que se someten a diversas reacciones de hidrólisis y polimerización para formar dispersiones coloidales y polimerizar lentamente para formar geles.

Capítulo III

Metodología

Introducción

Se entiende como método al camino y procedimiento de una actividad para lograr un objetivo definiendo a la metodología de la investigación como una disciplina que se encargará del estudio crítico de los procedimientos y medios que serán aplicados por los investigadores, que permitirán desarrollar de manera organizada y sistemática para alcanzar y crear el conocimiento en la investigación científica (Bastar, 2019).

Por ende, el presente trabajo de la unidad de integración curricular de acuerdo con la fuente originaria de información es una investigación de carácter documental, exploratoria y descriptiva, basada en el estudio de la nanotecnología en la producción de biodiesel.

Tipo de investigación

Se denomina el nivel de una investigación y se refiere al grado de profundidad con que aborda un tema de estudio o el alcance que tiene dicha investigación científica (Arias, 2012).

Investigación explorativa

Es efectuado cuando el tema no ha sido investigado o poco estudiado por otros autores los resultados a obtener construirán una versión aproximada de dicha investigación (Arias,2012). En el tema propuesto del presente trabajo de investigación, si bien es cierto que existen sin número de estudios realizados acerca de la producción de biodiesel; sin embargo, el estudio de las nanopartículas en la producción de biocombustibles.

Investigación descriptiva

Caracterizada en establecer las propiedades importantes de un hecho o cualquier fenómeno que sea sometido a análisis, con la finalidad de medir y evaluar su escritura o comportamiento (Arias, 2012). Centrados en este concepto se especificó y describió las definiciones de biomasa, biodiesel, biocombustibles, nanotecnología, nanocatalizadores; además, se correlacionó dichos procesos con su impacto medioambiental.

Diseño de investigación

Estrategia general adoptada para responder al problema planteado (Arias, 2012). En este trabajo, el diseño de la investigación según el origen de los datos es documental y según su manipulación es de carácter no experimental.

Diseño documental

Definido como una gama de métodos y técnicas para recuperar, procesar, analizar críticamente y almacenar información contenida en la literatura de otros investigadores y para presentar sistemáticamente nueva información, consistencia y exhaustividad en la literatura científica. (Tancara, 1993). Este diseño de investigación fue utilizado para cumplir con los objetivos planteados en este proyecto, donde como primer punto para la delimitación del tema de estudio, se procedió a seleccionar a través de una revisión bibliográfica de los diferentes métodos de producción de biodiesel.

Seguidamente, se investigaron y utilizaron trabajos ya publicados por otros autores como tesis, artículos científicos, revistas, libros que fueron obtenidos de diversas plataformas académicas de manera electrónica, acerca de la nanotecnología en la producción de biodiesel, de los cuales se realizó un

análisis de los métodos de síntesis de los nanocatalizadores utilizados en la producción de biodiesel de los cuales se realizó un análisis inicial para seleccionar aquellos documentos que pudiesen ser de utilidad para el caso de estudio descrito.

El análisis para clasificar y seleccionar los documentos descritos de interés y relevancia en el proyecto se hizo mediante lectura de sus resúmenes y conclusiones, en donde fueron seleccionados aquellos estudios que describen procesos que contrarrestan al uso de nanocatalizadores en la producción de biodiesel.

Capítulo IV

Resultados y Discusión

Biomasa utilizada para la producción de biodiesel

El biodiésel es una mezcla de ésteres alquílicos (metil, etílico, etc.) que contienen ácidos grasos de cadena larga obtenidos a partir de una variedad de biomasa tales como los aceites vegetales (Groth Martin et al., 2016), las grasas animales (Ortiz & Rodríguez, 2013) y aceites usados (Luis et al., 2017),

Más del 95% de las materias primas para la producción de biodiesel provienen de aceites comestibles, debido a que la calidad de este biodiesel es muy similar a la del combustible diesel (Tabla 4) (Antonio & Alvarez, 2013).

Pero también está el problema de los altos costes de producción, y, además, el hecho de que no se utilicen para producir alimentos, sino para producir biodiésel es controvertido. (Rosas & Proaño, 2018) . Para superar estas deficiencias, muchos investigadores utilizaron de los aceites no comestibles, aceites vegetales usados y en las grasas de animales, esto permitirá reducir el costo de producción de biodiesel y resolverá los problemas de contaminación causados por la disposición de este recurso (Yunus et al., 2014).

Tabla 4

Propiedades fisicoquímicas de distintos tipos de materia prima.

Materia prima	Viscosidad a 40(mm^2/s)	Densidad (g/cm^3)	Número de cetano	Temperatura de reacción $^{\circ}C$	Tiempo de transesterificación (min)	% de rendimiento
Soya	4.08	0.885	52	65	90	>95%
Palma	4.42	0.86-0.9	62	Ambiente	584	89.2

Materia prima	Viscosidad a 40(mm^2/s)	Densidad (g/cm^3)	Número de cetano	Temperatura de reacción $^{\circ}C$	Tiempo de transesterificación (min)	% de rendimiento
Maíz	3.39	0.88-0.89	58-59	80	60	97.9
Reutilizado	4	-		60	20	94.6

Nota. Propiedades fisicoquímicas a partir de distintos aceites como materia prima. Tomado de (Lin et al., 2011).

Comparación de biodiesel y petróleo diésel

- **Emisiones**

Gran parte de las emisiones generadas por los combustibles fósiles son superiores a las producidas por el biodiésel, el biodiésel no produce emisiones de óxido de azufre(SO_2), su combustión es más eficiente debido a su mayor contenido de oxígeno(O_2) y las emisiones de partículas y monóxido de carbono (CO) es menor (Scragg et al., 2003). El biodiesel también redujo las emisiones de hidrocarburos, pero NO_x aumentó (Canakci, 2007). Las emisiones de CO_2 del biodiésel son un 4,7% más altas que las del diésel, pero la mayor parte del gas es capturado por los cultivos en la etapa de crecimiento, por lo que su contribución al efecto invernadero es insignificante.

- **Trabajo en motores**

El biodiesel muestra una eficiencia térmica similar al combustible diesel, pero tiene un mayor consumo de este, debido a su menor contenido energético. La temperatura de los gases de escape suele ser inferior a la del diésel, lo que significa que la combustión del biodiésel comienza antes y tiene un período de expansión más largo. El inicio de la inyección de combustible se produce antes en el biodiésel que en el combustible diésel, como consecuencia de sus

diferentes propiedades físicoquímicas. El período de retardo de encendido también es más corto en el caso del biodiesel (Canakci, 2007).

El biodiesel también tiene mejores propiedades lubricantes, prolongando la vida útil del motor y reduciendo el nivel de ruido (Lapuerta et al., 2005). Dado que tiene buenas propiedades de disolvente, las tuberías del motor se mantienen limpias de cenizas.

- **Toxicidad**

El alto octanaje de los compuestos oxigenados presentes en el biodiesel no requiere la adición de compuestos antidetonantes. Por tanto, se reducen las emisiones derivadas de los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y sus derivados nitro (NAPH). Los HAP se reducen en un 85 %, excepto el benzoantraceno que solo se reduce en un 50 %. Además, los NAPH (2-nitro fluoreno y 1-nitropireno) se reducen drásticamente en un 90 % (Sharp, 1998).

- **Biodegradabilidad**

Pruebas realizadas en la Universidad de Idaho han demostrado que la degradación del biodiesel en solución acuosa fue del 95 % en 28 días; mientras que, el mismo período de tiempo, sólo se degradó el 40 % del diésel de petróleo. (Zhang et al., 1998).

- **Inconvenientes**

El biodiesel tiene algunos inconvenientes que hay que tener en cuenta. Su punto de fusión (equivalente al CFPP de un combustible de petróleo) varía de 0 a 5 °C, el cual es ligeramente alto y puede resultar en una baja fluidez en ambientes fríos (Foglia et al., 1997).

El punto de fluidez (punto en el que el combustible deja de fluidizar) depende en gran medida de la composición de la mezcla de biodiésel. Los ésteres metílicos de ácidos grasos saturados cristalizan a una temperatura más alta que los insaturados. Dependiendo de la materia prima, el biodiesel contiene diferentes proporciones de ésteres saturados/insaturados. Un posible enfoque para resolver este problema es agregar aditivos al biodiesel (por ejemplo, oleato de butilo). El biodiesel también se puede producir con alcoholes secundarios o ramificados. Estos compuestos destruyen el orden de la cadena de éster, disminuyendo el punto de fusión y el punto de fluidez (Salis et al., 2005).

Análisis de las emisiones a partir del biodiésel

Diversos estudios han demostrado que el biodiesel puede reducir significativamente las emisiones de la mayoría de los gases y partículas contaminantes a la atmósfera (Tabla 5). Como combustible oxigenado, el biodiésel se quema más completamente que el diésel, lo que da como resultado una mejor composición de las emisiones.

Tabla 5

Variación de las emisiones contaminantes del biodiesel versus diésel convencional

Agente contaminante de la atmósfera	Variación de emisiones	
	Durante la combustión (%)	Total (%)
CO	-46	-35
CH₄	0	-3
N₂O	0	-66

Agente contaminante de la atmósfera	Variación de emisiones	Agente contaminante de la atmósfera
Hidrocarburos (sin incluir CH4)	-37	238
Hidrocarburos (no especificados)	0	-39
Hidrocarburos policíclicos aromáticos		-80
Hidrocarburos policíclicos aromáticos nitrogenados		-90
Benceno	0	-96
Agente contaminante de la atmósfera	Variación de emisiones	
	Durante la combustión (%)	Total (%)
Formaldehído	0	-96
PM10	-68	-45
Partículas no especificadas	0	-25
SO_x	-100	-8
NO_x	9	13
HCL	0	14
HF	0	-16

Nota. Emisiones contaminantes del biodiesel versus diésel convencional tomada de Sheehan et al. (1998) & Beer et al. (2002)

El biodiésel reduce las emisiones de contaminantes nocivos como partículas (PM10), monóxido de carbono (CO) y óxidos de azufre (SOx) a menos de 10 micrones. En un metanálisis de varios estudios sobre las emisiones de biodiésel de los vehículos, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) descubrió que el uso de biodiésel redujo en un 47 % las emisiones de partículas de los vehículos y en un 48 % las emisiones de monóxido de carbono. Sheehan et al., 1998), usando biodiesel de soja en autobuses de transporte público, encontró que las emisiones de PM10, CO y SOx se

redujeron en un 44%, 35% y 8%, respectivamente, durante la vida útil del biodiesel. Para las emisiones de combustión, las reducciones son significativas: 68% para PM10, 46% para CO y 100% para SOx, ya que el biodiesel no contiene azufre. Investigaciones realizadas para el Laboratorio Nacional de Energías Renovables muestran que la emisión de material particulado depende del contenido de oxígeno del combustible. Al analizar las emisiones de biodiesel de diferentes materias primas, se encontró que todas reducían las emisiones de partículas en comparación con el diesel. Para biodiesel con un índice de cetano superior a 45, la reducción de PM es proporcional al contenido de oxígeno. Para biodiesel con un número de cetano por debajo de 45, la reducción es menor. De manera similar, al comparar los ésteres metílico y etílico de los mismos ácidos grasos, no encontraron diferencias consistentes en sus emisiones (Grabowski et al., 2003).

En este estudio, los valores de peróxido y acidez y contenido de glicerol del biodiesel tampoco afectaron las emisiones reguladas (CO, NOx, SO2, Total HC, PM). En cuanto a los hidrocarburos (HC), mientras que el biodiésel genera más volumen a lo largo de su vida útil, las emisiones durante la combustión se reducen en un 37%. La investigación de la EPA muestra una reducción del 67 % en las emisiones de HC durante la combustión. Las emisiones de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP, posiblemente cancerígenos) del biodiésel también son más bajas porque el biodiésel no contiene compuestos aromáticos (Rocha-hoyos, 2017).

También se observó una reducción significativa de los compuestos de aldehído, particularmente formaldehído y acetaldehído. En el caso del benceno, las emisiones se reducen en casi un 95% durante la vida útil del biodiesel, un carcinógeno cuando se quema completamente libre (Sheehan et al., 1998). El biodiésel es poco tóxico si se consume (peces o mamíferos), la

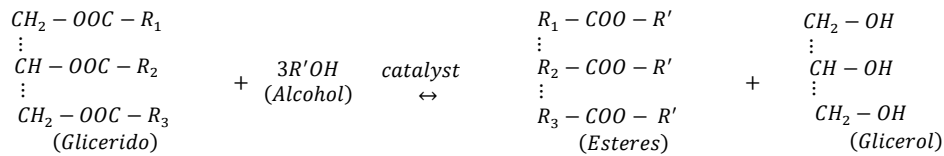
concentración de biodiésel que puede ser mortal si se ingiere por vía oral es muy alta, en torno a 17,4 g/ kg de peso corporal, por lo que una persona de 80 kg tendría que beber unos 1,6 L de biodiesel para tener efectos fatales en él. El impacto en la salud humana es un criterio importante al considerar si un combustible es utilizable comercialmente. Según el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH), la toxicidad para la vida acuática es muy baja. Las concentraciones en el agua son muy altas, superiores a 1000 mg/ly deben alcanzar niveles letales. Entonces, el biodiesel es bastante inofensivo para los animales acuáticos. Además, el biodiesel es altamente biodegradable en agua. La investigación de la Universidad de Idaho ha demostrado que el biodiesel se descompone mucho más rápido que el combustible diésel convencional, e incluso tan rápido como la glucosa (azúcar).

Los aceites a menudo contienen contaminantes como esteroides, fosfolípidos, ácidos grasos libres y agua. Incluso los aceites y grasas refinados contienen pequeñas cantidades de ácidos grasos libres y agua, que interfieren con el metabolismo de los triglicéridos e interfieren con la separación y purificación de los triglicéridos. Los grupos alquilo afectan el rendimiento (Luis et al., 2017) .

La transesterificación consiste en la reacción de un triéster de glicerilo (triglicérido) con un alcohol para formar alquil ésteres y glicerol (figura 2(Leung et al., 2010).

Figura 2

Proceso de transesterificación



Nota. Tomado de (Leung et al., 2010)

Dado que la reacción es reversible, el uso de alcohol en exceso desplaza el equilibrio hacia el producto. Los alcoholes más utilizados, especialmente el metanol, son el metanol y el etanol, debido a su bajo costo y ventajas fisicoquímicas (alcoholes polares y de cadena corta), además, el metanol reacciona rápidamente con los triglicéridos y es fácilmente soluble en álcali. Para una reacción metabólica completa, la proporción molar de alcohol y triglicéridos debe mantenerse en 3: 1. En la práctica, se requieren proporciones más altas para cambiar el equilibrio y mejorar los rendimientos. el tipo de catalizador, sino también del tipo y tipo de triglicéridos presentes en el aceite o grasa (Luis et al., 2017).

Químicamente, el biodiesel suele ser un éster metílico de ácido graso. Los aceites vegetales se pueden convertir calentándolos con un gran exceso de metanol anhidro y reactivos ácidos o básicos como catalizador. Los catalizadores se utilizan a menudo para aumentar la velocidad y la eficiencia de una reacción. En una reacción de transesterificación, usar más metanol desplaza el equilibrio de la reacción hacia la derecha y produce más ésteres metílicos como producto deseado. Varios aspectos incluyen el tipo de catalizador (base, ácido o enzima), la proporción molar de alcoholes y aceites vegetales, la temperatura, la pureza del reactivo (principalmente el contenido de agua) y el contenido de ácido. La grasa libre afecta la oxidación y la transesterificación. Se ha desarrollado un proceso de producción de biodiesel no catalítico utilizando metanol supercrítico que permite un proceso simple y altamente eficiente a través del metabolismo simultáneo de triglicéridos y

metilación de ácidos grasos. En el método catalítico de transesterificación con metanol supercrítico, el coeficiente de conversión aumenta al 60-90% en el primer minuto (Demirbas, 2008a).

Tabla 4*Biomasa utilizada en la producción de biodiesel.*

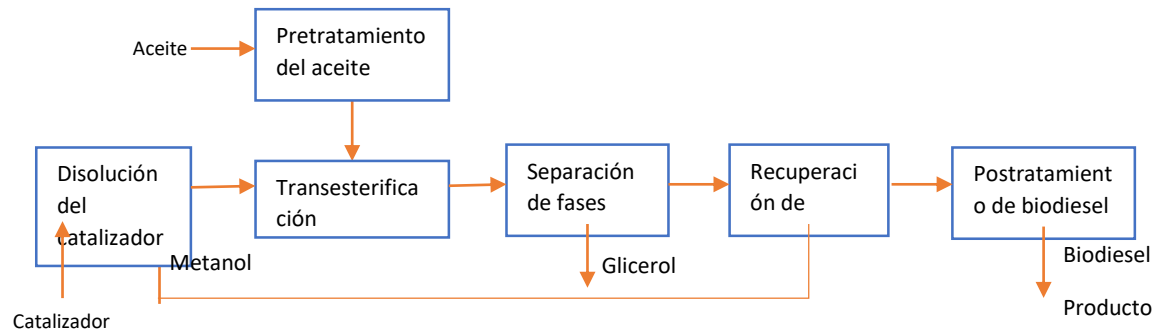
Materia prima	Método de producción de biodiesel por transesterificación				Rendimiento	Referencia
	Temperatura	Alcohol	Catalizador	Tiempo		
Primera generación (Plantas oleaginosas)						
Aceite de Soja	65°C	Metanol	CdO	50min	88%	(Groth Martin et al., 2016)
Aceite de girasol	60°C	metanol	CaO	53min	88.15%	(Groth Martin et al., 2016)
Aceite de Colza	65°C	Metanol	K ₂ CO ₃	40min	85%	(Rosas & Proaño, 2018)
Aceite de palma	50°C -70°C	Metanol	NaOH	2h	98.45%	(Ortiz Tapia et al., 2016)
Aceite de mango	60°C	Metanol	NaOH	1.5h	87.94%	(Julio & Domingo, 2019)
Aceite de girasol	60°C	Metanol	Na y Ce soportado SBA-15	1h	85%	(Sánchez Faba et al., 2021)
Segunda generación (residuos)						
Grasa de pollo	64°C	Metanol	NaOH	1,5 h	96%	(Ortiz & Rodríguez, 2013)
Grasa de cerdo	64°C	Metanol	NaOH	1,5 h	91,2%	(Tejada et al., 2013)
Grasa bovina	58°C	Metanol	KOH	1h	85.7%	(Córdova & Gomez, 2016)
Aceite de maíz usado	160°C	Metanol	metacaolinita	2h	92.4%	(Antonio & Alvarez, 2013)
Tercera generación (algas)						
Aceite de microalga chorella	60- 65°C	Metanol	KOH	1 h	11,39%	(Posada & Teran, 2019)

Nota. Recopilación bibliográfica de biomasa utilizada en la producción de biodiesel. Tomada de distintos papers científicos y diseño propio.

Producción de biodiesel a partir de biomasa de primera generación.

Figura 3

Proceso de producción de biodiesel a partir de aceites



Nota. Proceso de producción de biodiesel a partir de aceites vegetales.

Tomada de (Barriga, 2011)

- **Pretratamiento.**

Este paso consiste en acondicionar el aceite de cocina usado para que pueda ser tratado bajo catálisis alcalina para eliminar los sólidos disueltos, la humedad y el contenido de ácidos grasos libres que afectan la transesterificación.

- **Filtrado.**

Incluye retención de sólidos, generalmente realizada con mallas de 5 micras. Esto se puede hacer a altas temperaturas para acelerar el flujo del aceite, a bajas temperaturas para eliminar grasas (ceras) o productos de bajo punto de fusión que se solidifican durante la fritura. (Antonio & Alvarez, 2013).

- **Desgomado.**

Este proceso se realiza con agua caliente para reducir la cantidad de fosfolípidos y fosfolípidos en el aceite. El ligante debe estar hidratado e

insoluble en aceite para su posterior eliminación por decantación o centrifugación.

- **Transesterificación.**

La transesterificación se lleva a cabo como se menciona en los métodos de producción de biodiesel (Figura 2).

- **Separación de fases.**

Dado que los principales metabolitos (ésteres metílicos y glicerol) son poco solubles y tienen diferentes densidades, pueden separarse fácilmente por decantación o centrifugación. La agitación en la reacción de transesterificación hace que el glicerol se disperse en finas gotas por toda la mezcla, lo que prolonga el tiempo de sedimentación. Por lo tanto, a medida que continúa la reacción, se debe reducir la mezcla, lo que puede acortar el tiempo de separación de fases requerido (Antonio & Alvarez, 2013).

- **Recuperación de metanol y lavado del biodiésel.**

El éster metílico se trata con calor para evaporar el metanol y recuperarlo. Esto ahorra distribución y evita que el metanol se escape al medio ambiente. Luego se lavan para eliminar los residuos de catalizador, jabón, metanol y glicerina. Enjuague con agua caliente (50 a 60 °C); Enjuague con agua acidificada para neutralizar cualquier residuo de catalizador, formando una sal lavada. También separa los jabones que puedan haberse formado a partir de la reacción, convirtiéndolos en ácidos grasos libres (que quedan retenidos en el biodiésel) y sales solubles en agua. Este lavado se realizó al menos dos veces con agua hasta que se eliminó el catalizador base remanente y se eliminó el biodiesel pálido.

- **Secado.**

El biodiésel puede contener hasta 1500 ppm de agua disuelta, mientras que el diésel convencional suele contener 50 ppm. La solubilidad del éster en agua supera las especificaciones. Por lo tanto, el biodiesel debe someterse a un proceso de secado, generalmente a través de secadores de vacío que funcionan a muy baja presión, para evaporar el agua a una temperatura mucho más baja. (Antonio & Alvarez, 2013).

Producción de biodiesel a partir de biomasa de segunda generación.

Dado que el valor industrial de la hemicelulosa es insignificante en comparación con la celulosa (materia prima de papel, barnices, explosivos, etc.), se deben utilizar biocombustibles para agregar valor a la hemicelulosa, aunque se puede aplicar el mismo tratamiento para la fracción de celulosa. El siguiente es un diagrama del proceso considerado en este trabajo, cuyas partes principales son las siguientes:

- **Pretratamiento de la biomasa.**

El pretratamiento de la biomasa permite la eliminación de la lignina y la extracción de la fracción de hemicelulosa. Este paso es importante porque la lignina tiene una reactividad muy diferente con otros componentes de la biomasa y cuando se combina con hemicelulosa y celulosa puede causar reacciones secundarias y muchos productos indeseables. Este paso es uno de los más costosos en el proceso de recolección de biocombustibles, representando el 20% del costo total.

Los pretratamientos incluyen procesos físicos, químicos, térmicos o, incluso, la combinación de los tres (Tagliabue et al., 2008). El pretratamiento de la biomasa es necesario para reducir el tamaño de las materias primas (lo que facilita los procesos posteriores), lo que limita la formación de productos de degradación que inhiben el crecimiento microbiano. Sustancias necesarias

en los procesos biológicos y minimiza los requisitos energéticos de las reacciones posteriores y, por lo tanto, reduce sus costos. Por tanto, además de una buena separación de las fracciones deseadas, uno de los parámetros más importantes que determinarán el proceso utilizado será el bajo coste del catalizador de pretratamiento o su reutilización.

El pretratamiento físico más común es la introducción de biomasa en un chorro de vapor a alta presión a temperaturas entre 160 °C y 260 °C, lo que resulta en la degradación del material, la degradación de la hemicelulosa, el metabolismo de la lignina y una mayor digestión de la celulosa. (Jackson et al., 2000).

Para pretratamientos químicos, pueden ser alcalinos o ácidos. Se han estudiado ampliamente como precursores de la hidrólisis enzimática. El tratamiento alcalino afecta principalmente a la solubilidad de la lignina, mientras que el ácido facilita el fraccionamiento selectivo de la hemicelulosa. El objetivo principal del pretratamiento es eliminar la lignina de la biomasa y aumentar la reactividad de los polisacáridos restantes. En estas condiciones, la hemicelulosa es insoluble, pero se puede obtener modificando algunos de los sustituyentes del azúcar.

- **Hidrólisis de la biomasa.**

Actualmente se considera que la hidrólisis es la vía principal para la introducción de biomasa en las plantas de bioprocesamiento (Rinaldi y Schüth, 2009). Consiste en romper los enlaces β -1,4-glucosídicos que conectan las moléculas de celulosa y hemicelulosa para obtener los monómeros (azúcares) apropiados. La primera técnica desarrollada en este campo se denominó proceso de Scholler, desarrollada en Alemania en 1920 (Faith, 1945). Desde entonces, se han desarrollado diversas técnicas para optimizar el consumo de

energía, minimizar las reacciones secundarias y lograr una hidrólisis completa en menor tiempo.

Actualmente, la tendencia general hacia el desarrollo de catalizadores heterogéneos favorece el estudio simultáneo de la hidrólisis de la biomasa celulósica y la hidrogenación de los azúcares resultantes para obtener azúcares y polioles de alto valor de trabajo altamente industrial en un solo paso (Van de Vyer et al., 2011) Esta reacción requiere un catalizador multifuncional con un metal activo para la hidrogenación y un sitio ácido para la hidrólisis. Una de las familias de catalizadores más prometedoras para este proceso. Además, al utilizar sus propiedades de tamiz molecular, podrían encontrar aplicaciones en el crecimiento molecular. y procesos de purificación (Mäki-Arvela et al., 2007) Son materiales simples de reciclar y reutilizar, de acuerdo con las pautas de la química verde y la sustentabilidad.

- **Deshidratación de azúcares.**

La adquisición de aldehídos por deshidratación de azúcares (hexosas y pentosas) es actualmente uno de los métodos industriales más utilizados para la preparación de estos intermedios, que son importantes en la síntesis de muchos productos químicos. A pesar de los buenos resultados, la tendencia actual de eliminar los catalizadores homogéneos favorece el estudio de procesos ácidos sólidos alternativos.

- **Condensación aldólica.**

La condensación aldólica es un paso intermedio importante en la formación de moléculas orgánicas de cadena larga utilizando compuestos carbonílicos (aldehídos) derivados de carbohidratos. Esta es una reacción química orgánica donde, en medio alcalino, el ion enolato reacciona con el grupo carbonilo para formar un sistema conjugado de carbonilo α , β -

insaturado, y el producto final está mediado por β -hidroxialdehído o β -hidroxicetona. (Vollhardt y Schore, 2008).

La condensación aldólica se lleva a cabo normalmente en presencia de un catalizador base. Para la mayoría de los procesos industriales, la catálisis homogénea está más desarrollada y existe mucha literatura sobre la condensación catalizada por NaOH (West et al., 2008a). Utilizando este catalizador, la selectividad por C8 es del 60% y la selectividad por C13 es del 40%, con conversión completa de los reactivos. Para eliminar el catalizador del producto, se añadió ácido clorhídrico hasta neutralizar la basicidad.

- **Hidrogenación/deshidratación completa para la obtención de los alcanos lineales (biodiesel).**

En este paso final, la reacción de hidrogenación se combina con la deshidratación para obtener un alcano lineal a partir del producto de adición previamente preparado. Este proceso se usa ampliamente en la industria química para una variedad de propósitos, incluida la captura de alcanos líquidos en el proceso de biocombustibles como paso final.

4.5 Producción de biodiesel a partir de biomasa de tercera generación.

El proceso de obtención de biodiésel a partir de microalgas se divide en 3 etapas:

- **Métodos para aumentar la biomasa y lípidos.**

Recientemente, se han desarrollado nuevas estrategias basadas en la biotecnología para aumentar el rendimiento y reducir la contaminación, sin embargo, el alto costo del carbono heterótrofo (por ejemplo, la glucosa) utilizado como sustrato es una barrera económica importante para la producción de lípidos en las microalgas. (Wang et al., 2014). Se ha

demostrado que mantener las microalgas en condiciones de estrés aumenta la acumulación de lípidos, por lo que se han utilizado métodos como la restricción de nitrógeno, la adición de iones y sales metálicas como EDTA para inducir el estrés. (Ren et al., 2014).

El uso de técnicas modernas centradas en la modificación genética o la selección de líneas mutantes son algunas de las soluciones alternativas para incrementar la producción de lípidos por parte de las microalgas y abaratar el coste de producción de biodiesel.

- **Técnicas de extracción de lípidos.**

Se describe el potencial biotecnológico mostrado por las microalgas en la producción de lípidos útiles para la producción de biodiesel, actualmente no existen métodos viables para la extracción de lípidos a escala industrial y solo novedosos para su aplicación a escala de laboratorio. (Neto et al. 2013).

Los métodos más comunes para la extracción de grasa de microalgas incluyen el uso de solventes, fluidos supercríticos, campos eléctricos pulsados, microondas y ondas ultrasónicas. (Batista et al., 2016).

En este sentido, actualmente estamos enfocados en desarrollar o mejorar métodos de destrucción celular para reducir el consumo de solventes, generar menos residuos, aumentar la productividad y mejorar la calidad del producto final (Hidalgo et al., 2016).

Métodos químicos usados en la reacción de transesterificación. La transesterificación es uno de los métodos mejor estudiados y por lo tanto más utilizados en la producción de biodiesel. Durante este proceso tiene lugar la transferencia de acilo, que puede ocurrir entre un éster y un ácido (acidolisis), entre un éster y otro éster (metabolismo), o entre un éster y un alcohol (Freire et al., 2011).

El biodiesel presenta muchas ventajas por la disminución de emisiones de CO_2 , su alto porcentaje de degradabilidad y su producción de diversos aceites comestibles y no comestibles (Mohammadshirazi et al., 2014). La producción de biodiesel utilizando aceites no comestibles (aceites de microalgas, aceites vegetales y aceites animales) tiene beneficios socioeconómicos porque estas materias primas se consideran desechos y son abundantes. Además, no representan una amenaza a la seguridad alimentaria a diferencia de los aceites comestibles (aceite de girasol, aceite de soja, aceite de colza) esto también hace que el proceso de biodiesel para ser comercialmente competitivo debido a la reducción de costos en el proceso (Yunus et al., 2014).

De acuerdo a la (tabla 7) se hizo un resumen de las materias primas según la generación a la que corresponde y procesamientos que se lleva a cabo para obtener biodiesel.

En la primera generación se resumió a las plantas oleaginosas (soja, aceite de girasol, colza) y aceite de cocina usado; el procedimiento para obtener biodiesel comienza en un pretratamiento de la materia prima que es un prensado o extracción donde se recupera el aceite vegetal el que sirve para el de proceso de transesterificación, de acuerdo a los rendimientos de obtención de biodiesel se obtiene para: soja 88% (Groth Martin et al., 2016), aceite de girasol 88.15% (Groth Martin et al., 2016) y colza 85% (Rosas & Proaño, 2018). Sin embargo, no se utiliza un pretratamiento en el aceite usado de cocina usado obteniendo un rendimiento de 97.2% (Luis et al., 2017).

En la segunda generación la grasa de animales se consideró la grasa de aves con un rendimiento que corresponde al 70.5% (Ortiz & Rodríguez, 2013), debido a un proceso de transesterificación puesto que este proceso de producción es el método de producción más utilizado porque es el más económico y tiene las siguientes ventajas: alta conversión (98%), pocas

reacciones secundarias, corto tiempo de reacción y conversión directa a no esterificado a través del paso intermedio. (Lin et al., 2011). Mediante el uso de catalizadores básicos bajos en ácido, se puede reducir la formación de jabón y la saponificación catalítica que se produce simultáneamente con la reacción de transesterificación, por otro lado, las densidades de todas las grasas se encuentran dentro del rango estándar, lo que confirma que es menor que la del agua, lo que facilita la separación, en referencia al índice de yodo, se obtuvo un alto índice de mejora de las propiedades del biodiesel, la estabilidad del biodiesel está relacionada con su viscosidad (Ortiz & Rodríguez, 2013). En cuanto al índice de peróxidos, el valor más bajo se encuentra en la grasa de vacuno, lo que significa una mayor estabilidad a la oxidación y, por tanto, una acción catalizadora más favorable. (Ortiz & Rodríguez, 2013).

En la tercera generación la materia prima son las microalgas, como pretratamiento es el cultivo, cosecha y secado, obteniendo la biomasa de microalgas luego de una extracción de lípidos es decir el aceite se lleva a cabo la transesterificación con un rendimiento de 70% (Khademi, 2014) para tener como producto final el biodiesel.

Las microalgas se caracterizan por una alta eficiencia lipídica y, por lo tanto, son una alternativa al biodiesel, pero los costos de producción y reciclaje de biomasa siguen siendo altos, junto con los altos requerimientos de energía (Castillo et al., 2017). Actualmente, no existen técnicas industriales viables para la extracción de lípidos y se están probando métodos de fluidos supercríticos, campos eléctricos pulsados, microondas y ultrasonidos (Castillo et al., 2017).

Producción de biodiesel usando nanocatalizadores

El uso de nanopartículas ha surgido como una tecnología novedosa para obtener altos rendimientos de la producción de biodiesel. Y se ha demostrado que la incorporación de nanopartículas mejora la eficiencia catalítica durante el proceso de transesterificación (Chen et al., 2018).

Se recopiló información de varias investigaciones de la producción de biodiesel utilizando nanocatalizadores y se resume a continuación (Tabla 6), ordenada de acuerdo a la biomasa de primera, segunda y tercera generación.

Se revisó diferentes investigaciones y se puede discutir que la aplicación de nanomateriales en recursos energéticos, renovables y sostenibles. Tal es el caso que el nanomaterial puede jugar un papel vital y contribuir significativamente a la producción de biodiesel.

Se han revisado varios nanocatalizadores para la producción de biodiesel como: óxido de zinc (ZnO), óxido de calcio (CaO), óxido de magnesio (MgO), óxido de titanio (TiO_2), óxido de circonio (ZrO) nanocatalizadores a base de carbono y otros nanocatalizadores. (Pandya et al., 2019)

Estos nanocatalizadores se pueden utilizar como nanocatalizadores soportados, nanocatalizadores dopados, nanocatalizadores impregnados y nanocatalizadores mixtos (Xie & Ma, 2009). Los nanocatalizadores dan una mejor conversión y rendimiento que los catalizadores heterogéneos con mejores condiciones óptimas (Reverchon et al., 2007). La cinética de reacción con los nanocatalizadores dan una cinética de reacción de primer o pseudo primer orden para la reacción de transesterificación para la producción de biodiesel en algunas de las investigaciones (Ernestina et al., 2012). El uso de estos nanomateriales en la producción de los biocombustibles puede ayudar a

proporcionar una fuente de energía limpia y barata en un futuro próximo y se convertirán una industria global fuerte (Pandya et al., 2019).

Las propiedades físicas de los productos químicos primarios de la transesterificación se dan en la Tabla 4. La alta viscosidad de los aceites vegetales fue la causa de graves problemas operativos, como depósitos en el motor. Esta es una de las principales razones por las que los aceites vegetales puros se han abandonado en gran medida como combustibles diésel alternativo en favor de los ésteres monoalquílicos, como los ésteres metílicos

Varios métodos de transesterificación de aceite vegetal se utilizan actualmente en la producción de combustible biodiesel. Como combustible alternativo, el aceite vegetal es uno de los combustibles renovables (Demirbas, 2008b). Químicamente, el biodiesel es un éster etílico de ácido graso. El biodiésel juega un papel importante en el cumplimiento de los futuros requisitos de combustible en vista de su capacidad para reducir las emisiones de los motores diésel para muchos precursores de contaminantes del aire, y la menor toxicidad de las emisiones de partículas de diésel tiene una ventaja sobre el diésel convencional, ya que se obtienen de fuentes renovables. (Demirbas, 2008a). En el método de transesterificación con alcohol supercrítico, el rendimiento de conversión aumenta al 50–95 % durante los primeros 8 min. En el método de transesterificación de metanol supercrítico catalítico, el rendimiento de conversión aumenta a 60-90% durante el primer minuto. La reacción entre el metóxido de sodio en metanol y un aceite vegetal es muy rápida; por ejemplo, completamente transesterificado en 4-6 min a temperatura ambiente (Demirbas, 2008b).

Los parámetros que afectan la formación de ésteres metílicos son la temperatura de reacción, la presión, la relación molar, el contenido de agua y el contenido de ácidos grasos libres (Demirbas, 2008a). Es evidente que, en

un estado subcrítico del alcohol, la velocidad de reacción es muy baja y aumenta gradualmente a medida que aumenta la presión o la temperatura. Se observó que el aumento de la temperatura de reacción, especialmente a condiciones supercríticas, tuvo una influencia favorable en el rendimiento de conversión de éster. El rendimiento de éster alquílico aumentó con el aumento de la relación molar de aceite a alcohol (Demirbas, 2008b).

Las materias primas renovables, como los aceites de semillas de plantas, la grasa animal, los microorganismos y las algas, son las principales fuentes de biodiésel. Se produce básicamente mediante transesterificación catalítica realizada por catalizadores homogéneos o heterogéneos. (Ingle et al., 2020) Los catalizadores alcalinos como el hidróxido de potasio, el hidróxido de sodio se utilizan principalmente en el proceso de transesterificación de grasas. Sin embargo, estos catalizadores causan dificultades en la transesterificación de materias primas de baja calidad. Por lo tanto, se demandan catalizadores heterogéneos (es decir, lipasa, catalizadores sólidos) para superar los desafíos relacionados con los catalizadores homogéneos (Ingle et al., 2020). Entre los diferentes catalizadores heterogéneos, los nanocatalizadores en forma de nanocatalizadores basados en óxidos metálicos, zeolitas/nanozeolitas y nanocatalizadores magnéticos se consideran catalizadores prometedores en la producción de biodiesel a partir de una variedad de materias primas con alto rendimiento y mejor selectividad (Ingle et al., 2020). La catálisis basada en nanomateriales tiene el potencial de revolucionar la producción de biodiesel en el crecimiento industrial aumentando las biorrefinerías. (Fukuda et al., 2001)

Tabla 5

Nanocatalizadores utilizados para la producción de biodiesel.

Materia prima	Nanocatalizador	Síntesis de nanocatalizador	Método de producción de biodiesel por transesterificación			Rendimiento de producción	Referencia
			Temperatura	Alcohol	Tiempo de reacción		
Biomasa de primera generación							
Aceite de girasol	Oxido de calcio CaO	Método de coprecipitación	65 °C	Metanol	2h	90 a 97 %	Bet-Moushoul y col. (2016)
Aceite de girasol	MgO- La ₂ O ₃	Método de coprecipitación	65 °C	Metanol	5h	97,7 %	(Adil Shafiganie, 2020)
Aceite de girasol	Sr ₃ Al ₂ O ₆	Método sol- gel	60 °C	Metanol	61 min	95,7 %	(Adil Shafiganie, 2020)
Aceite de colza	Carbonato de potasio K ₂ CO ₃	Método de coprecipitación	65 °C	Metanol	2h	99.6 %	(Li et al. 2013)
Aceite de soja	Oxido de cadmio CdO	Método de coprecipitación	60 °C	Metanol	3h	95 %	(Patil y Pratap2016)
Aceite de moringa oleífera	Oxido de cobre y oxido de calcio CuO – CaO	Método sol- gel	65 °C	Metanol	150 min	95,24 %	(Feyzi & Norouzi, 2016)
Aceite de moringa oleífera	Cs/Al/ Fe ₃ O ₄	Método sol-gel	58°C	Metanol	120min	94.8%	(Feyzi & Norouzi, 2016)

Materia prima	Nanocatalizador	Síntesis de nanocatalizador	Método de producción de biodiesel por transesterificación			Rendimiento de producción	Referencia
			Temperatura	Alcohol	Tiempo de reacción		
Biomasa de primera generación							
Aceite de girasol	Al-Sr	Método de coprecipitación	65°C	Metanol	5h	96.8%	(Feyzi & Shahbazi, 2017)
Aceite de girasol	ZnO	Método de coprecipitación	60 °C	Metanol	1h	98.03%	(Borah et al., 2019)
Aceite de palma	AlO ₂ /Al ₂ O ₃	Método de coprecipitación	64,72 °C	Metanol	3h	97.65%	(Zhang et al., 2020)
Aceite de palma	Cs–Ca/ SiO ₂ – TiO ₂	Método de coprecipitación	60 °C	Metanol	2h	98%	(Feyzi & Shahbazi, 2015)
Camelina sativa seed oil	MgO /Fe ₂ O ₃ – SiO ₂	Método de coprecipitación	70 °C	Metanol	4.1h	99%	Rahimi et al., 2021)
Aceite de canola	KOH/Ca ₁₂ Al ₁₄ O ₃	Sistema de microondas	65°C	Metanol	60min	83.5%	Nayebzadeh et al., 2017)
Biomasa de segunda generación							
Aceite de cocina usado	Fosfato de lantano	Método de coprecipitación	90 °C	Metanol	120 min	91%	(Rezania et al., 2021)
Aceite de cocina usado	Zn _{1.2} H _{0.6} PW ₁₂ O ₄₀ Dodeca tungsto fosfato de zinc	Método de coprecipitación	148.5 °C	Metanol	90min	98%	(Li et al., 2009)

Materia prima	Nanocatalizador	Síntesis de nanocatalizador	Método de producción de biodiesel por transesterificación			Rendimiento de producción	Referencia
			Temperatura	Alcohol	Tiempo de reacción		
Biomasa de tercera generación							
Lípidos de microalgas (Thermomyces lanuginosas)	Óxido de hierro Fe_3O_4	Coprecipitación de iones	80 °C	Metanol	24h	97.2%	(Xie & Ma, 2009)
Aceite de microalgas	Oxido de calcio	Calcinación-hidratación-deshidratación	90 °C	Metanol	3.6h	86.41%	(Pandit & Fulekar, 2017)

Nota. Nanocatalizadores utilizados para la producción de biodiesel. Tomado de varios papers y diseño propio.

Comparación de la producción de biodiesel con y sin nanocatalizador

- **Aceite de girasol**

La producción de biodiesel en esta investigación bibliográfica se consideró al aceite girasol y obtuvimos un resultado de rendimiento sin nanocatalizador del 88.15% y con nanocatalizador de 90% a 97% de rendimiento usando un nanocatalizador de CaO con oro de 3.9 y 4.3nm. siendo así que el uso del nanocatalizador da mejor resultado de rendimiento.

- **Aceite de colza**

Se considero al aceite de colza y de acuerdo a la investigación sin nanocatalizador tenemos un rendimiento de 95% y al usar un nanocatalizador de K_2CO_3 tenemos un rendimiento de 99.6%.

- **Aceite de soja**

Considerando el aceite de soja sin nanocatalizador el rendimiento es de 85% mientras que usando un nanocatalizador de oxidode cadmio se obtuvo un 95% de rendimiento.

- **Aceite usado de cocina**

En la producción de biodiesel con aceite de cocina usado de la investigación bibliográfica se obtuvo que sin usar nanocatalizador se obtuvo un 97.2% de rendimiento y al usar nanocatalizador de $Zn_{1.2}H_{0.6}PW_{12}O_{40}$ (dodecatungstosfato de zinc) se obtuvo de 98% de rendimiento así viendo que la diferencia es casi mínima, se puede considerar usar los dos métodos basándonos en costos en la producción.

- **Grasa de aves**

En la producción de biodiesel a partir de la grasa de animales se consideró la comparación de la grasa de aves sin utilizar Nanocatalizadores se

tiene un rendimiento de 70.5% y al utilizar un nanocatalizador de CaO se tiene un rendimiento de 99%.

- **Microalgas**

Se evaluó los efectos de las nanopartículas magnéticas de Fe₃O₄/ZnMg(AL)O en la producción de biodiesel a partir de aceite microalgas, el catalizador exhibió una excelente capacidad de respuesta magnética y una gran relación área superficie volumen lo que favorece la producción de biodiesel y resulto en un alto rendimiento de 94% (Lee et al., 2014) y sin nanocatalizador se obtuvo un rendimiento de 70%.

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- De acuerdo a la revisión bibliográfica el biodiesel es un combustible que no contiene azufre y produce menos contaminante comparado con el gasóleo del petróleo, reduciendo la cantidad de hidrocarburos aromáticos no combustibles y emisiones de partículas como monóxido de carbono. El biodiésel es un combustible limpio y renovable, a diferencia del diésel convencional, que no es renovable y provoca emisiones nocivas de gases de efecto invernadero. Las materias primas renovables, como los aceites de semillas de plantas, la grasa animal, los microorganismos y las algas, son las principales fuentes de biodiésel. Se produce básicamente mediante transesterificación catalítica realizada por catalizadores homogéneos o heterogéneos. Los catalizadores alcalinos como el hidróxido de potasio, el hidróxido de sodio se utilizan principalmente en el proceso de transesterificación de grasas.
- La catálisis basada en nanomateriales tiene el potencial de revolucionar la producción de biodiesel en el crecimiento industrial aumentando las biorrefinerías.
- El uso de microalgas para la producción de biodiesel es una tecnología viable debido a su alto contenido en lípidos y composición en ácidos grasos, aunque no existe un desarrollo tecnológico para reducir los costos de producción. El uso de un sistema de doble uso se considera una buena opción para reducir estos costos mientras se reutilizan las aguas residuales. Cuando es alto el contenido de ácidos grasos en la materia prima se debe realizar dos procesos combinados(esterificación-transesterificación) para la producción de biodiesel,

el proceso de esterificación puede llevarse a cabo en varios pasos hasta la reducción de menos de 5%.

- Los biocombustibles están avanzando rápidamente como fuentes alternativas de energía renovable debido a sus características no contaminantes y su competitividad en costos en comparación con los combustibles fósiles. Sin embargo, para acelerar su desarrollo, el enfoque se está desplazando hacia el uso de tecnologías que maximicen sus rendimientos. Las nanopartículas están ganando cada vez más interés entre los investigadores debido a sus exquisitas propiedades, que les permiten ser aplicadas en diversos campos como la petroquímica.

Recomendaciones

- Hay que considerar para futuras investigaciones más información sobre el proceso de pirólisis ya que no hay variedad de bibliografía.
- La necesidad de desarrollar combustibles renovables y ecológicos es cada vez más evidente.
- Factores clave que impulsan el precio del biodiesel es un método de cultivo, extracción de lípidos y proceso de transformación biológica.

Bibliografía

Adil Shafi ganie, S. S. (2020). *Fabrication and optimization of nanocatalyst for Biodiesel production.*

<https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.579014>

Alivisatos, A. P. (1996). Downloaded from www.sciencemag.org on March 4 , 2011 Downloaded from www.sciencemag.org on March 4 , 2011. *Dots. Science*, 933–937.

[https://doi.org/doi.org/10.1016/S1389-1723\(01\)80288-7](https://doi.org/doi.org/10.1016/S1389-1723(01)80288-7)

Antonio, J., & Alvarez, A. (2013). *Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del Refugio .*

Becerra, A., & Soto, M. (2015). *Síntesis Y Caracterización De Nanopartículas De Metal Slap 2010 Inversas. July 2015.*

Borah, M. J., Devi, A., Borah, R., & Deka, D. (2019). Synthesis and application of Co doped ZnO as heterogeneous nanocatalyst for biodiesel production from non-edible oil. *Renewable Energy*, 133, 512–519. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.10.069>

Cabello, A. (2006). Energías Alternativas: “Solución Para El Desarrollo Sustentable.” *Refinor*, 1–47.

http://dspace.utalca.cl/retrieve/10081/cabello_quinones_am.pdf

Castillo, O. S., Torres-Badajoz, S. G., Núñez-Colín, C. A., Peña-Caballero, V., Herrera Méndez, C. H., & Rodríguez-Núñez, J. R. (2017). Biodiesel production from microalgae: Progress and

biotechnological prospects. *Hidrobiologica*, 27(3), 337–352.

<https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2017v27n3/Rodriguez>

Cedeño, E. A. L. (2017). Producción e Impacto del Biodiésel: Una Revisión. *INNOVA Research Journal*, 2(7), 59–76.

<http://www.journaluidegye.com/magazine/index.php/innova/article/view/229/333>

Chen, Y., Kho, A. N., Liebovitz, D., Ivory, C., Osmundson, S., Bian, J., & Malin, B. A. (2018). Learning bundled care opportunities from electronic medical records. *Journal of Biomedical Informatics*, 77(November 2017), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2017.11.014>

Córdova, A., & Gomez, D. (2016). *Aprovechamiento de la grasa de Camal frigorifico municipio Ambato para lka obtencion de biodiesel*. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/23838>

Daniel, M., & Astruc, D. (2004). *Gold Nanoparticles : Assembly , Supramolecular Chemistry , Quantum-Size-Related Properties , and Applications toward Biology , Catalysis , and Nanotechnology*.

Demirbas, A. (2008a). Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections. *Energy Conversion and Management*, 49(8), 2106–2116.

<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.02.020>

Demirbas, A. (2008b). Comparison of transesterification methods for production of biodiesel from vegetable oils and fats. *Energy Conversion and Management*, 49(1), 125–130.

<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2007.05.002>

Domínguez, J. M., & Espinel, R. L. (2009). Análisis de Factibilidad para la introducción del Biodiesel en Ecuador. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 25, 10–22.

Ernestina, I., Ramírez, M., Angélica, N., Vela, C., & Rincón, J. J. (2012). *Biodiesel , un combustible renovable Biodiesel , a renewable fuel*.

Faba, L., Díaz, E., & Ordóñez, S. (2014). From biomass to second generation biofuels. *Madera y Bosques*, 20(3), 11–24.

<https://doi.org/10.21829/myb.2014.203148>

Feyzi, M., & Norouzi, L. (2016). Preparation and kinetic study of magnetic Ca/Fe₃O₄@SiO₂ nanocatalysts for biodiesel production. *Renewable Energy*, 94, 579–586.

<https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.086>

Feyzi, M., & Shahbazi, E. (2015). Catalytic performance and characterization of Cs-Ca/SiO₂-TiO₂ nanocatalysts for biodiesel production. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 404–405, 131–138. <https://doi.org/10.1016/j.molcata.2015.04.018>

Feyzi, M., & Shahbazi, Z. (2017). Preparation, kinetic and thermodynamic studies of Al–Sr nanocatalysts for biodiesel production. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 71, 145–155. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2016.11.023>

Fukuda, H., Kond, A., & Noda, H. (2001). *Biodiesel Fuel Production by*

Transesterification. 92(5).

- Grabowski, M. S., McCormick, R., Alleman, T. L., & Herring, A. M. (2003). The Effect of Biodiesel Composition on Engine Emissions from a DDC Series 60 Diesel Engine: Final Report; Report 2 in a Series of 6. *NREL Report, NREL/SR-51*(February), 1–91.
- Griffin, E. (1993). *DIESEL FUEL FROM VEGETABLE OILS : STATUS AND OPPORTUNITIES. 4(4).*
- Groth Martin, Z., Cristiano, B., Groth Maruan, Z., Roza-Gomez Margarida, F., & Alceu, C. (2016). *Agrociencia Uruguay Producción y viabilidad del uso de biodiesel proveniente de aceite residual de fritura Production and Viability of Using Biodiesel Derived from Residual Cooking Oil. 36–42.*
- Ingle, A. P., Chandel, A. K., Philippini, R., Martiniano, S. E., & da Silva, S. S. (2020). Advances in nanocatalysts mediated biodiesel production: A critical appraisal. *Symmetry, 12(2)*, 1–21.
<https://doi.org/10.3390/sym12020256>
- Julio, G., & Domingo, L. (2019). *Sintesis de biodiesel a partir de aceite extraído con CO2 supercritico de semilla de mango.*
<https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/44401>
- Lee, Y., Lee, K., & Oh, Y. (2014). Bioresource Technology Recent nanoparticle engineering advances in microalgal cultivation and harvesting processes of biodiesel production : A review.
BIORESOURCETECHNOLOGY.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.10.145>

Leung, D. Y. C., Wu, X., & Leung, M. K. H. (2010). A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. *Applied Energy*, 87(4), 1083–1095. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.10.006>

Li, J., Wang, X., Zhu, W., & Cao, F. (2009). ZnO Nanotubes with Double Acid Sites as Heterogeneous Catalysts for the Production of Biodiesel from Waste Cooking Oil. *Applied Energy*, 130(2), 177–183. <https://doi.org/10.1002/cssc.200800208>

Lin, L., Cunshan, Z., Vittayapadung, S., Xiangqian, S., & Mingdong, D. (2011). Opportunities and challenges for biodiesel fuel. *Applied Energy*, 88(4), 1020–1031. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.09.029>

Luis, J., Ruiz-morales, F., & Rosario, M. Del. (2017). Generación de Biodiesel a partir de residuos de aceites , utilizando un reactor con PLC para la automatización del proceso. *Applied Energy*, 190(1), 16–27.

Ma, F., & Hanna, M. A. (n.d.). *Biodiesel production: a review 1*.

Ma, F., & Hanna, M. A. (1999). *Biodiesel production: a review 1*.

Mclean, D. D., & Kates, M. (2003). Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment. *Applied Energy*, 89(1), 1–16. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00040-3](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00040-3)

Mo, M., Rasul, M. G., Hyde, J., Azad, A. K., Mamat, R., & Bhuiya, M. M. K. (2016). Role of biofuel and their binary (diesel – biodiesel) and

ternary (ethanol – biodiesel – diesel) blends on internal combustion engines emission reduction. 53, 265–278.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.046>

Mofijur, M., Rasul, M. ., & Hyde, J. (2016). *Role of biofuel and their binary (diesel-biodiesel) and ternary (ethanol-biodiesel-diesel) blends on internal combustion engines emission reduction. 53, 265–278.*

Mohammadshirazi, A., Akram, A., Ra, S., & Kalhor, E. B. (2014). *Energy and cost analyses of biodiesel production from waste cooking oil. 33, 44–49.* <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.067>

Nano, M. (2012). Metodologías para la síntesis de nanopartículas: controlando forma y tamaño. *Conservation Biology, 19(6), 2039–2039.* https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00323_1.x

Nogués, F., Galindo-Garcia, D., & Rezeau, A. (2010). *Energía de la biomasa (Volumen I).*

Ortiz, Á. V., & Rodríguez, L. M. (2013). Obtención De Biodiesel a Partir De Diferentes Tipos De Grasa Residual De Origen Animal. *Luna Azul, 36, 10–25.* <https://doi.org/10.17151/luaz.2013.36.2>

Ortiz Tapia, M. del C., García Alamilla, P., Lagunes Gálvez, L. M., Arregoitia Quezada, M. I., García Alamilla, R., & León Chávez, M. A. (2016). Biodiesel production from crude palm oil (*Elaeis guineensis* Jacq). Ascending path method application. *Acta Universitaria, 26(5), 3–10.* <https://doi.org/10.15174/au.2016.910>

- Pandit, P. R., & Fulekar, M. H. (2017). Egg shell waste as heterogeneous nanocatalyst for biodiesel production: Optimized by response surface methodology. *Journal of Environmental Management*, 198, 319–329.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.100>
- Pandya, H. N., Parikh, S. P., & Shah, M. (2019). Comprehensive review on application of various nanoparticles for the production of biodiesel. In *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*. Taylor and Francis Inc.
<https://doi.org/10.1080/15567036.2019.1648599>
- Pantoja, D. (2018). *Caracterización de las propiedades físico químicas de Biodiesel extraído de aceite reciclado de origen vegetal*. 1–50.
https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-07642019000300083&script=sci_arttext&tlng=n
- Posada, M., & Teran, D. (2019). *Obtención de biodiesel de tercera generación a partir de la producción de contenido lipídico del cultivo de la microalga chlorella sp de origen marino*.
<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/40048>
- Reverchon, E., De Marco, I., & Torino, E. (2007). Nanoparticles production by supercritical antisolvent precipitation: A general interpretation. *Journal of Supercritical Fluids*, 43(1), 126–138.
<https://doi.org/10.1016/j.supflu.2007.04.013>
- Rezania, S., Korrani, Z. S., Gabris, M. A., Cho, J., Yadav, K. K., Cabral-

- Pinto, M. M. S., Alam, J., Ahamed, M., & Nodeh, H. R. (2021). Lanthanum phosphate foam as novel heterogeneous nanocatalyst for biodiesel production from waste cooking oil. *Renewable Energy*, 176, 228–236. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.05.060>
- Rocha-hoyos, J. (2017). *Producción e impacto del biodiesel : una revisión Production and impact of biodiesel : a review*. 2(7), 59–76.
- Rosas, N. M., & Proaño, O. (2018). *Obtención catalítica de biodiesel a partir de aceite de colza Materiales y Métodos Materiales y Equipos*. 140–150.
- Sánchez Faba, E. M., Stobbia, D., Ferrero, G. O., & Eimer, G. A. (2021). Comparación de la performance de dos catalizadores sólidos a base de Na y Ce soportados sobre SBA-15 para la producción de biodiesel mediante catálisis heterogénea alcalina. *Revista Tecnología y Ciencia*, 57(41), 57–74. <https://doi.org/10.33414/rtyc.41.57-74.2021>
- Singh, D., Sharma, D., Soni, S. L., Sharma, S., & Sharma, P. K. (2019). Review article A review on feedstocks , production processes , and yield for di ff erent generations of biodiesel. *Fuel*, October, 116553. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116553>
- Tejada, C., Tejada, L., Villabona, A., & Monrroy, L. (2013). *Obtención De Biodiesel a Partir De Diferentes Tipos De Grasa Residual De Origen Animal. Luna Azul*, (34), 240–256. <https://doi.org/10.17151/luaz.2015.40.14>.

- Weisz, P. B., Haag, W. O., & Rodewald, P. G. (1979). Catalytic production of high-grade fuel (gasoline) from biomass compounds by shape-selective catalysis. *Science*, *206*(4414), 57–58.
<https://doi.org/10.1126/science.206.4414.57>
- Xie, W., & Ma, N. (2009). *Immobilized Lipase on Fe₃O₄ Nanoparticles as Biocatalyst for Biodiesel Production*. *17*, 1347–1353.
- Yunus, T. M., Atabani, A. E., Anjum, I., Badarudin, A., Khayoon, M. S., & Triwahyono, S. (2014). Recent scenario and technologies to utilize non-edible oils for biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *37*, 840–851.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.064>
- Zhang, Y., Niu, S., Lu, C., Gong, Z., & Hu, X. (2020). Catalytic performance of NaAlO₂/γ-Al₂O₃ as heterogeneous nanocatalyst for biodiesel production: Optimization using response surface methodology. *Energy Conversion and Management*, *203*(November), 112263.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112263>

Anexos