

PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL USANDO MATERIALES CON PROPIEDADES REDOX

BIODIESEL PRODUCTION USING MATERIALS WITH REDOX
PROPERTIES

Fabrizio Joseph Honorato Alcántara (1)
Fortino Bañuelos Romero (2)
María Griselda Corro Hernández (3)
Esmeralda Vidal Robles (4)

<https://orcid.org/0009-0009-4300-8751>
<https://orcid.org/0000-0002-8049-7648>
<https://orcid.org/0000-0001-8568-6133>
<https://orcid.org/0000-0001-8143-0878>

Recibido: 1 de Diciembre 2024
Revisado: 2 de Enero 2025
Publicado: 20 de Enero 2025

(1)ha223470231@alm.buap.mx
(2)fortino.banuelos@correo.buap.mx
(3)griselda.corro@correo.buap.mx
(4)esmeralda.vidal@correo.buap.mx

(1): Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Laboratorio de
Catálisis y Energía, Maestría en Ciencias en Energías Renovables
ICUAP BUAP

Resumen

El incremento de la contaminación ambiental debido al uso de combustibles fósiles como el petróleo, el gas y el carbón, contribuye a problemas de salud pública y al cambio climático. Esto ha impulsado a la investigación para resolver este problema con el desarrollo de fuentes de energía sostenible, en este trabajo se hace un análisis del aprovechamiento de algunas semillas oleaginosas, la característica principal de estas semillas es su alto porcentaje de aceite, la obtención de estos aceites se realiza mediante procesos de extracción y refinación con el fin de mejorar la calidad del aceite en la producción de biodiesel. El aprovechamiento de las semillas oleaginosas es una alternativa prometedora para la producción de biodiesel y además es sustentable. El biodiesel y los biocombustibles tienen como objetivo principal reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y reducir la dependencia de los combustibles fósiles, así como la seguridad energética mundial.

Palabras clave: biodiésel, aceite, semillas oleaginosas.

Abstract

The increase in environmental pollution due to the use of fossil fuels such as oil, gas and coal contributes to public health problems and climate change. This has prompted research to solve this problem with the development of sustainable energy sources, in this work an analysis of the use of some oilseeds is made, the main feature of these seeds is their high percentage of oil, obtaining these oils is done by extraction and refining processes in order to improve the quality of the oil in the production of biodiesel. The use of oilseeds is a promising alternative for the production of biodiesel and it is also sustainable. The main objective of biodiesel and biofuels is to reduce greenhouse gas emissions and reduce dependence on fossil fuels, as well as global energy security.

Introducción

El diésel es un activo significativo tanto en la industria como en la economía global. Sin embargo, la disminución de los recursos de combustibles fósiles y el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero han promovido la investigación de biocombustibles en países tanto desarrollados como en vías de desarrollo. El objetivo principal de estos esfuerzos es reducir la dependencia de los combustibles tradicionales y mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero.

El biodiésel está compuesto de ésteres alquílicos de ácidos grasos, que se obtienen de aceites vegetales o grasas animales, ya sean utilizadas o puras, dependiendo de su origen. En México, los productores de biodiésel enfrentan altos costos de producción, lo que impacta negativamente su rentabilidad, ya que el precio de venta del biodiésel está vinculado al costo del combustible fósil. Por lo tanto, resulta crucial utilizar materias primas de bajo costo, incluyendo aceites vegetales tanto comestibles como no comestibles [1-2].

HISTORIA DEL BIODIÉSEL.

En la Exposición Universal de París de 1900, la empresa francesa Otto presentó un motor diésel impulsado por un combustible extraído del maní. En 1937, el científico belga Charles George Chavanne desarrolló el método de transesterificación, logrando así la producción de biodiésel a partir de aceites vegetales y obteniendo la primera patente para este procedimiento. En 1940, en diversas regiones de África, se empezó a utilizar aceites vegetales como combustible en motores diésel, al mismo tiempo que se iniciaron cultivos destinados a la autosuficiencia energética.

Un año después, en 1941, el empresario estadounidense Henry Ford diseñó y construyó el "soybean car" (automóvil de soja), que funcionaba con una mezcla de etanol derivado del maíz. En 1977, el ingeniero químico brasileño Expedito

José de Sá Parente desarrolló el primer proceso industrial para la producción de biodiésel a gran escala. El término "biodiesel" fue acuñado en 1988, y al año siguiente se inauguró la primera planta industrial de biodiésel, utilizando colza como materia prima. En 1992, la Ley de Política Energética en Estados Unidos obligó a los fabricantes de automóviles a diseñar modelos que pudieran funcionar con combustibles alternativos. Además, en Hawái, se puso en marcha la operación comercial de Pacific Biodiesel, una planta que procesa grasas residuales para la

producción de biodiésel [3].

EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A NIVEL MUNDIAL.

La producción de biodiésel ha experimentado un crecimiento significativo a nivel global, impulsada por un proceso de transesterificación simplificado que utiliza catalizadores homogéneos o heterogéneos, junto con aceites de palma, soja y colza. Entre 2010 y 2019, la producción mundial de biodiésel aumentó un 140%, alcanzando los 50 millones de metros cúbicos, siendo este biocombustible principalmente empleado en el sector del transporte.

En el contexto de la producción mundial de biodiésel, los principales países productores son Indonesia (16%), Estados Unidos (13%), Brasil (11%), Alemania (8%) y Francia (5%), mientras que el 47% restante corresponde a países como Malasia, Tailandia, Países Bajos, España y Argentina.

Por otro lado, los principales consumidores de biodiésel son Estados Unidos (14%), Indonesia (13%), Brasil (12%), Francia (8%), Alemania (5%), y el 48% restante incluye a países como Argentina, España, Tailandia, Suecia, Italia y el Reino Unido.

En el caso de México, actúa como comprador neto de biodiésel proveniente de Estados Unidos, aunque las importaciones

han disminuido notablemente, pasando de 20,449 toneladas en 2016 a solo 2,240 toneladas en 2020. Se estima que el consumo anual de aceite de cocina y aceite industrial en México asciende a aproximadamente 3.41 millones de metros cúbicos, con un potencial de recuperación de hasta 356 mil metros cúbicos anuales. La recolección de aceite usado a gran escala podría hacer que la producción de biodiésel sea económicamente viable, siempre que se implemente una estrategia clara de política energética que fomente una recolección sostenible [2].

Desarrollo SEMILLAS OLEAGINOSAS.

Las semillas de plantas oleaginosas que contienen aceite extraíble; algunas de ellas son aptas para el consumo humano, mientras que otras se destinan a aplicaciones industriales. Estas semillas están rodeadas por una cáscara cuya dureza puede variar según la especie. Todas comparten la característica de tener menos del 50% de agua en su composición, un bajo contenido de carbohidratos y un alto contenido de grasas [4].

En la tabla 1 se muestran algunas semillas utilizadas en la producción de biodiésel:

Tabla 1. Datos reportados de las características de las semillas oleaginosas en la producción de biodiésel.				
Nombre	Porcentaje de aceite	Número de cetanos	Rango de Biodiésel estándar (33-40 MJ/Kg)	Referencia
Thevetia peruviana Adelfa amarilla	52.37-56.29%	61.5	37.74 MJ/kg	[5]
Linum usitatissimum Lino o linaza	35-40%	51-52	41.95 - 42.33 MJ/Kg	[6]
Camelita sativa Sesamo bastardo	46%	42.76	39.26 MJ/Kg	[7]
Ricinus communis Higuerilla	36.08%	29.75	38.97 MJ/Kg	[8]
Semilla de aguacate	1.87%			[9]

Estos datos evidencian la importancia de estas semillas en la obtención de aceites y su papel fundamental en la producción de biodiésel. Se observa que la adelfa amarilla surge como una de las opciones más prometedoras para este fin, ya que presenta un alto contenido de aceite y un elevado número de cetanos, lo que sugiere una calidad de combustión superior.

EXTRACCIÓN DE ACEITE EN SEMILLAS OLEAGINOSAS.

Extracción por prensado.

Las semillas previamente acondicionadas, serán sometidas a un proceso de prensado para extraer el aceite que contienen. Para ello, se utiliza una prensa compuesta por una cesta perforada y un sinfín, que ejerce presión sobre la semilla. El prensado no afecta el contenido de aceite en la semilla, este método de extracción es menor comparado con la extracción de aceite utilizando solventes. Una vez que el aceite es extraído, se obtiene una masa, conocida como "turto", que consiste en la materia prima prensada y que retiene parte del aceite que no se pudo obtener en el proceso. Esta masa puede ser tratada con solventes para recuperar el aceite restante.

El aceite obtenido a través del prensado mecánico puede contener fragmentos de semillas y cáscaras, lo que afecta su pureza. Por ello, es necesario eliminar estas impurezas mediante centrifugación o decantación para los sólidos de mayor tamaño, y filtración para aquellos de menor tamaño. [10]

Extracción por solventes.

La extracción del aceite se puede llevar a cabo de tres maneras:

1. Percolación: Este método consiste en hacer pasar un flujo de solvente a través de la masa de semilla sin inundarla completamente. Se realiza en contracorriente; es decir, al principio la masa de semilla se lava con una micela rica en aceite y,

posteriormente, con mezclas progresivamente más pobres en aceite, finalizando con un lavado de solvente puro. Este método es habitual para extraer el aceite que se encuentra en estado libre, gracias a tratamientos previos (se produce una extracción por disolución)

2. Inmersión: En este caso, la masa de semilla se sumerge completamente en el solvente. Este método es el más adecuado para extraer el aceite que aún se encuentra contenido dentro de la masa

3. Sistema mixto: Este método implica la instalación de dos extractores en serie: uno que opera por percolación y otro por inmersión [10].



Fig.1. Aceite de mango obtenido por método de extracción con solvente.



Fig.2 Aceite de aguacate por método de extracción con solvente.

Para refinar un aceite, se emplean diferentes procedimientos que pueden variar, e incluso es posible omitir algunos pasos como el blanqueamiento.

Desgomado

El desgomado es un proceso crucial en la producción de aceite, ya que permite eliminar las gomas presentes. Esto se logra mediante tratamientos con ácido fosfórico o ácido cítrico, que hacen que las gomas sean insolubles en el aceite, facilitando su eliminación. Estos ácidos reaccionan con los fosfátidos del aceite, haciéndolos hidratables. También se puede utilizar agua para hidratar los fosfátidos antes de extraerlos en un separador o durante el proceso de neutralización. Este tratamiento acondiciona el aceite, evitando que adquiera sabores y olores desagradables, al tiempo que reduce el riesgo de oxidación y la formación de espuma durante el calentamiento.

Proceso de neutralización

Después del desgomado y antes del blanqueo se lleva a cabo el proceso de neutralización. En este paso, se utiliza hidróxido de sodio para neutralizar el exceso de ácidos y saponificar los ácidos grasos del aceite. El objetivo principal es separar y eliminar estos ácidos grasos libres. Al tratar los ácidos grasos con hidróxido de sodio, se forman jabones que luego se eliminan mediante un proceso de lavado. Además, se realiza una centrifugación y secado para remover el exceso de agua, asegurando así la pureza del aceite.

Blanqueamiento

Una vez desgomado y neutralizado, el aceite se calienta a una temperatura de 100 a 110 °C y se agita añadiendo arcillas de blanqueamiento. Este proceso permite eliminar impurezas como carotenos y metales, que quedan adsorbidos en la arcilla. Se realiza al vacío para evitar reacciones secundarias de oxidación. Cuando se alcanza el color deseado del aceite, es necesario filtrar la mezcla para eliminar la arcilla, la cual puede representar entre el 20 y el 30% en peso del aceite, constituyendo el principal residuo

sólido del proceso.

Desodorización.

La desodorización permite eliminar sustancias indeseables como peróxidos, aldehídos, cetonas y ácidos grasos volátiles, mejorando así el sabor, olor y color del aceite. Este proceso se lleva a cabo mediante la inyección de vapor a altas temperaturas y bajo presión de vacío durante un periodo de 4 a 7 horas.

Transesterificación

En el proceso de transesterificación, se utiliza una mezcla de hidróxido de sodio y metanol para formar un metóxido. Este metóxido se agrega al aceite, lo que provoca una reacción de transesterificación que da lugar a éster metílico, conocido como biodiésel, junto con subproductos como glicerina y jabón [11-12].

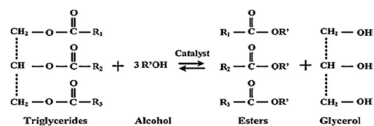


Fig 3. Reacción de transesterificación [13]

Avances de la investigación.

Para la producción de biodiésel, se llevó a cabo el proceso de extracción de aceite utilizando una prensa mecánica. Sin embargo, este método de extracción puede resultar en un bajo rendimiento en la obtención de aceite, como se evidencia en la siguiente tabla:

Nombre de la semilla	Peso	Porcentaje de aceite obtenido
Ricino Communis (Higuerilla)	50.10 gr	30%
Semilla de aguacate	429 gr	1%

Se llevó a cabo la refinación del aceite obtenido mediante un proceso de desgomado, el cual elimina fosfátidos e impurezas con el objetivo de mejorar su eficiencia en la reacción de transesterificación y prevenir la formación de productos no deseados. Posteriormente, se realizó una filtración para separar las impurezas generadas durante este proceso.



Fig 4. Aceite después del proceso de desgomado e impurezas.

En la reacción de transesterificación, el aceite reacciona con un alcohol, como el metanol, en presencia de un catalizador alcalino, como el hidróxido de sodio o el hidróxido de potasio. Este proceso da lugar a la formación de ésteres metílicos (biodiésel) y glicerol, que actúa como subproducto.



Fig 5. Transesterificación para obtener biodiesel y glicerina.

Conclusiones

Las semillas oleaginosas se caracterizan por su alta cantidad de aceite, aunque esta cantidad puede variar según la especie. Además, el contenido de aceite extraído puede fluctuar según los métodos utilizados; sin embargo, la combinación de diferentes técnicas puede aumentar el rendimiento del aceite.

Es esencial llevar a cabo procesos de refinación, como desgomado, neutralización, blanqueamiento y desodorización, para garantizar la calidad del biodiésel producido. Este biocombustible, obtenido a partir de semillas oleaginosas, representa una alternativa prometedora y sostenible, ya que aprovecha los aceites naturales de estas semillas. Con este enfoque, se busca reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y disminuir la dependencia de los combustibles fósiles.

Declaración de no Conflicto de intereses

Los autores de este manuscrito declaran no tener ningún tipo de conflicto de interés.

Declaración de privacidad

Los datos de este artículo, así como los detalles técnicos para la realización del experimento, se pueden compartir a solicitud directa con el autor de correspondencia.

Los datos personales facilitados por los autores a rd-icuap se usarán exclusivamente para los fines declarados por la misma, no estando disponibles para ningún otro propósito ni proporcionados a terceros..

Agradecimientos

A los docentes y asesores por el apoyo brindado durante la formación académica.

Introduction

Diesel fuel is an important asset in both industry and the global economy. However, decreasing fossil fuel resources and increasing greenhouse gas emissions have spurred research into biofuels in both developed and developing countries. The main objective of these efforts is to reduce dependence on traditional fuels and mitigate greenhouse gas emissions.

Biodiesel is composed of fatty acid alkyl esters, which are obtained from vegetable oils or animal fats, either used or pure, depending on their origin. In Mexico, biodiesel producers face high production costs, which negatively impacts their profitability, since the selling price of biodiesel is linked to the cost of fossil fuel. Therefore, it is crucial to use low-cost feedstocks, including both edible and inedible vegetable oils [1-2].

HISTORY OF BIODIESEL

At the 1900 Paris Universal Exposition, the French company Otto presented a diesel engine powered by a fuel extracted from peanuts. In 1937, the Belgian scientist Charles George Chavanne developed the transesterification method, thus achieving the production of biodiesel from vegetable oils and obtaining the first patent for this process. In 1940, in various regions of Africa, vegetable oils began to be used as fuel in diesel engines, at the same time as the cultivation of crops for energy self-sufficiency was initiated.

A year later, in 1941, U.S. businessman Henry Ford designed and built the "soybean car", which ran on a mixture of corn-derived ethanol. In 1977, Brazilian chemical engineer Expedito José de Sá Parente developed the first industrial process for large-scale biodiesel production. The term "biodiesel" was coined in 1988, and the following year the first industrial biodiesel plant was inaugurated, using rapeseed as feedstock. In 1992, the Energy Policy Act in the United States obliged automobile manufacturers to design models that could run on alternative fuels. In addition, in Hawaii, the commercial

operation of Pacific Biodiesel, a plant that processes waste fats for the production of biodiesel, was launched [3].

EVOLUTION OF BIODIESEL PRODUCTION WORLDWIDE

Biodiesel production has experienced significant growth globally, driven by a simplified transesterification process using homogeneous or heterogeneous catalysts, together with palm, soybean and rapeseed oils. Between 2010 and 2019, global biodiesel production increased by 140%, reaching 50 million cubic meters, with this biofuel being mainly used in the transportation sector.

In the context of world biodiesel production, the main producing countries are Indonesia (16%), the United States (13%), Brazil (11%), Germany (8%) and France (5%), while the remaining 47% corresponds to countries such as Malaysia, Thailand, the Netherlands, Spain and Argentina.

On the other hand, the main consumers of biodiesel are the United States (14%), Indonesia (13%), Brazil (12%), France (8%), Germany (5%), and the remaining 48% includes countries such as Argentina, Spain, Thailand, Sweden, Italy and the United Kingdom. In the case of Mexico, it acts as a net buyer of biodiesel from the United States, although imports have decreased significantly, from 20,449 tons in 2016 to only 2,240 tons in 2020. Annual consumption of cooking oil and industrial oil in Mexico is estimated at approximately 3.41 million cubic meters, with a recovery potential of up to 356 thousand cubic meters annually. Large-scale collection of used oil could make biodiesel production economically viable, provided that a clear energy policy strategy that encourages sustainable collection is implemented [2].

Development

OILSEEDS.

The seeds of oleaginous plants containing extractable oil; some of them are suitable for human consumption, while others are intended for industrial applications. These seeds are surrounded by a shell whose hardness may vary according to the species. They all share the characteristic of having less than 50% water in their composition, a low carbohydrate content and a high fat content [4]. Table 1 shows some seeds used in biodiesel production:

Tabla 1. Datos reportados de las características de las semillas oleaginosas en la producción de biodiésel.

Tabla 1. Reported data on oilseed characteristics in biodiesel production.

These data show the importance of these seeds in obtaining oils and their fundamental role in the production of biodiesel. It is observed that yellow oleander emerges as one of the most promising options for this purpose, since it has a high oil content and a high number of cetanes, suggesting a superior combustion quality.

OIL EXTRACTION FROM OILSEEDS.

Extraction by pressing.

The previously conditioned seeds are subjected to a pressing process to extract the oil they contain. For this purpose, a press composed of a perforated basket and an auger is used, which exerts pressure on the seed. Pressing does not affect the oil content in the seed, this method of extraction is minor compared to oil extraction using solvents. Once the oil is extracted, a mass is obtained, known as "turto", which consists of the pressed raw material and retains part of the oil that could not be obtained in the process. This mass can be treated with solvents to recover the remaining oil.

The oil obtained through mechanical pressing may contain fragments of seeds and shells, which affects its purity. Therefore, it is necessary to remove these impurities by centrifugation or decanting for larger solids, and filtration for those of smaller size. [10]

Extraction by solvents.

Oil extraction can be carried out in three ways:

1. **Percolation:** This method consists of passing a flow of solvent through the seed mass without completely flooding it. It is carried out in countercurrent; that is, at first the seed mass is washed with an oil-rich micelle and, subsequently, with mixtures progressively poorer in oil, ending with a pure solvent wash. This method is usual to extract the oil that is in a free state, thanks to previous treatments (extraction by dissolution).
2. **Immersion:** In this case, the seed mass is completely immersed in the solvent. This method is the most suitable for extracting the oil that is still contained within the mass.
3. **Mixed system:** This method involves the installation of two extractors in series: one operating by percolation and the other by immersion [10].

Fig1. Aceite de mango obtenido por método de extracción con solvente.

Fig1. Mango oil obtained by solvent extraction method.

Fig.2 Aceite de aguacate obtenido por método de extracción con solvente.

Fig.2 Avocado oil obtained by solvent extraction method.

OIL REFINING.

To refine an oil, different procedures are used that can vary, and it is even possible to omit some steps such as bleaching.

Degumming.

Degumming is a crucial process in oil production, as it allows the elimination of the gums present. This is achieved by treatments with phosphoric acid or citric acid, which make the gums insoluble in the oil, facilitating their elimination. These acids react with the phosphatides in the oil, making them hydratable. Water can also be used to hydrate the phosphatides before extracting them in a separator or during the neutralization process. This treatment conditions the oil, preventing it from acquiring unpleasant tastes and odors, while reducing the risk of oxidation and foaming during heating.

Neutralization process.

After degumming and before bleaching, the neutralization process is carried out. In this step, sodium hydroxide is used to neutralize excess acids and saponify the fatty acids in the oil. The main objective is to separate and remove these free fatty acids. By treating the fatty acids with sodium hydroxide, soaps are formed and then removed by a washing process. In addition, centrifugation and drying are performed to remove excess water, thus ensuring the purity of the oil.

Bleaching

Once degummed and neutralized, the oil is heated to a temperature of 100 to 110 °C and agitated by adding bleaching clays. This process eliminates impurities such as carotenes and metals, which are adsorbed on the clay. It is carried out under vacuum to avoid secondary oxidation reactions. When the desired color of the oil is reached, it is necessary to filter the mixture to eliminate the clay, which can represent between 20 and 30% by weight of the oil, constituting the main solid residue of the process.

Deodorization.

Deodorization eliminates undesirable substances such as peroxides, aldehydes, ketones and volatile fatty acids, thus improving the taste, odor and color of the oil. This process is carried out by injecting steam at high temperatures and under vacuum pressure for a period of 4

to 7 hours.

Transesterification

In the transesterification process, a mixture of sodium hydroxide and methanol is used to form a methoxide. This methoxide is added to the oil, which causes a transesterification reaction resulting in methyl ester, known as biodiesel, along with by-products such as glycerin and soap [11-12].

Fig 3. Reacción de transesterificación [13]

Fig 3. Transesterification reaction [13].

Research progress.

For biodiesel production, the oil extraction process was carried out using a mechanical press. However, this extraction method can result in a low yield of oil, as evidenced in the following table:

Tabla 2. Resultados registrados de la obtención de aceite mediante prensado mecánico.

Table 2. Results recorded for obtaining oil by mechanical pressing.

The oil obtained was refined by means of a degumming process, which eliminates phosphatides and impurities in order to improve its efficiency in the transesterification reaction and prevent the formation of undesired products. Subsequently, filtration was carried out to separate the impurities generated during this process.

Fig 4. Aceite después del proceso de desgumado e impurezas.

Fig 4. Oil after degumming process and impurities.

In the transesterification reaction, the oil reacts with an alcohol, such as methanol, in the presence of an alkaline catalyst, such as sodium hydroxide or potassium hydroxide. This process results in the formation of methyl esters (biodiesel) and glycerol, which acts as a by-product.

Fig 5. Transesterification to obtain biodiesel and glycerin.

Fig 5. Transesterificación para obtener biodiesel y glicerina.

Conclusions

Oilseeds are characterized by their high oil content, although this amount may vary according to the species. In addition, the extracted oil content can fluctuate according to the methods used; however, the combination of different techniques can increase the oil yield.

It is essential to carry out refining processes, such as degumming, neutralization, bleaching and deodorization, to guarantee the quality of the biodiesel produced. This biofuel, obtained from oilseeds, represents a promising and sustainable alternative, since it takes advantage of the natural oils of these seeds. This approach seeks to reduce greenhouse gas emissions and reduce dependence on fossil fuels.

(Arial 10, en VANCOUVER, espaciado 1.0 y separadas por un espacio)

- [1] Abdulvahitoglu, A., & Kilic, M. (2022). A new approach for selecting the most suitable oilseed for biodiesel production; the integrated AHP-TOPSIS method. *Ain Shams Engineering Journal*, 13(3). <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.10.002>

- [2] Sosa-Rodríguez, F. S., & Vazquez-Arenas, J. (2021). The biodiesel market in Mexico: Challenges and perspectives to overcome in Latin-American countries. *Energy Conversion and Management: X*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2021.100149>

- [3] Dewangan, A., Yadav, A. K., & Mallick, A. (2018). Current scenario of biodiesel development in India: prospects and challenges. In *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects* (Vol. 40, Issue 20, pp. 2494–2501). Taylor and Francis Inc. <https://doi.org/10.1080/15567036.2018.1502849>

- [4] En, I., & Ambiental, B. (n.d.). Escuela superior politécnica de Chimborazo facultad de ciencias químicas "obtención de biodiesel a partir de semillas oleaginosas de la provincia de Chimborazo"

- [5] Bhattacharyya, S. (2022). Transesterification of Yellow Oleander seed oil, its utilization as biodiesel and performance evaluation. *Heliyon*, 8(4). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09250>

- [6] Bacenetti, J., Restuccia, A., Schillaci, G., & Failla, S. (2017). Biodiesel production from unconventional oilseed crops (*Linum usitatissimum* L. and *Camelina sativa* L.) in Mediterranean conditions: Environmental sustainability assessment. *Renewable Energy*, 112, 444–456. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.05.044>

- [7] Ciubota-Rosie, C., Ruiz, J. R., Ramos, M. J., & Pérez, Á. (2013). Biodiesel from *Camelina sativa*: A comprehensive characterisation. *Fuel*, 105, 572–577. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.09.062>

- [8] Zapata, N., Vargas, M., Reyes, J. F., & Belmar, G. (2012). Quality of biodiesel and press cake obtained from *Euphorbia lathyris*, *Brassica napus* and *Ricinus communis*. *Industrial Crops and Products*, 38(1), 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.01.004>
- [9] Pushkar Bora, B. S., Narain, N., Rocha, R. V., & Queiroz Paulo, M. (n.d.). Characterization of the oils from the pulp and seeds of avocado (cultivar: Fuerte) fruits.
- [10] Franco, J. B. (n.d.). Extracción de aceite de semillas oleaginosas.
- [11] Productos quimicos. (n.d.). www.silverson.es
- [12] 4.-Guia-Refinamiento-de-aceite-vegetal. (n.d.).
- [13] Atadashi, I. M., Aroua, M. K., Abdul Aziz, A. R., & Sulaiman, N. M. N. (2012). Production of biodiesel using high free fatty acid feedstocks. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 16, Issue 5, pp. 3275–3285). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.063>