



ConBRepro

XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



EVENTO
ON-LINE

01 a 03
de dezembro 2021

Aprovechamiento de aceites vegetales usados para la obtención de biodiésel de segunda generación: una revisión

Juan Pablo Arismendi Londoño

Facultad de Ciencias Básicas – Universidad Francisco de Paula Santander. juanpabloal@ufps.edu.co

Anny Jasbleidy Avendaño Avendaño

Facultad de Ingeniería – Universidad Francisco de Paula Santander. annyjasbleidyaa@ufps.edu.co

John Wilmer Parra Llanos

Facultad de Ciencias Básicas – Universidad Francisco de Paula Santander. johnwilmerpl@ufps.edu.co

Dora Cecilia Rodríguez Ordoñez

Facultad de Ciencias Básicas – Universidad Francisco de Paula Santander. doraceciliaro@ufps.edu.co

Resumen: Los recursos de energía renovable son los que proponen soluciones más efectivas contra el uso de combustibles contaminantes, los cuales provocan problemas ambientales en su producción y uso, afectando directamente el medio ambiente. Por lo tanto, es esencial el cambio paulatino de los actuales recursos no renovables con los renovables para así, satisfacer la demanda futura de energía. Entre los muchos combustibles actualmente disponibles, el biodiésel es uno de los que ofrecen un gran impacto positivo inmediato al medio ambiente y a la sustitución directa de combustibles no renovables. Por lo tanto, en el presente trabajo se realizará una revisión del estado del arte de la producción de este biocombustible, que en general se prepara mediante procesos de transesterificación de aceites vegetales, utilizando diferentes tipos de catalizadores. Se hace una revisión de la situación del mercado de producción y consumo de biodiesel, realizando una comparación con su contraparte petroquímica (diésel); también se hace un análisis de los diferentes métodos de síntesis de biodiesel, con un principal enfoque al tratamiento de aceites de cocina usados.

Palabras-clave: Aceite de cocina usado, Biodiésel, Diésel, Transesterificación.

Use of used vegetable oils to obtain second generation biodiesel: a review

Abstract: Renewable energy resources are those that propose the most effective solutions against the use of polluting fuels, which cause environmental problems in their production and use, directly affecting the environment. Therefore, it is essential to gradually change current non-renewable resources with renewable ones in order to satisfy future energy demand. Among the many fuels currently available, biodiesel is one of those that offer a great immediate positive impact on the environment and as a direct replacement for non-renewable fuels. Therefore, in the present work a review of the state of the art of the production of this biofuel will be carried out, which in general is prepared by transesterification processes of vegetable oils, using different types of catalysts. A review of the situation of the biodiesel production and consumption market is made, making a

comparison with its petrochemical counterpart (diesel); an analysis is also made of the different biodiesel synthesis methods, with a main focus on the treatment of used cooking oils.

Keywords: Biodiesel, Diesel, Transesterification, Waste cooking oil.

1. Introducción

El enorme uso del diésel a nivel mundial y la rapidez con que se agotan las reservas de petróleo crudo, han generado un gran interés y una investigación exhaustiva, sobre alternativas adecuadas de los biocombustibles (ISLAM; RAVINDRA, 2017, p. 12). El Protocolo de Kioto ha planteado exigencias en cuanto a los límites de las emisiones causadas por el uso de combustibles fósiles. Según las proyecciones de emisiones de CO₂ para el año 2025 estas aumentarán entre 415 y 421 ppm (LÓPEZ *et al.*, 2015, p. 157). Debido a esto, es necesaria la búsqueda de combustibles alternativos, y es ahí donde aparece el biodiésel, el cual genera menores emisiones de CO₂ a la atmósfera, comparado con los combustibles no renovables de origen petroquímico.

El biodiesel además de ser un combustible alternativo, renovable, biodegradable y amigable con el medio ambiente, puede ser utilizado sin inconvenientes en motores encendidos por compresión (OLIVEIRA; COELHO, 2017, p. 168). El uso de biodiésel en un motor diésel convencional da como resultado una reducción sustancial de hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono (CO), emisión de partículas y óxido de nitrógeno (MURUGESAN *et al.*, 2009, p. 653). Por otro lado, las propiedades del biodiésel son muy similares a las del diésel de los automotores en cuanto a densidad y número de cetano, pero presenta un punto de inflamación superior, razón por la cual el biodiésel puede mezclarse con el diésel para su uso en los motores de combustión interna de encendido por compresión (MCI-EC) e incluso sustituirlo totalmente si se realizan algunas adaptaciones de los motores (HUBER *et al.*, 2006, p. 4045).

El desarrollo de metodologías para la obtención de biodiésel puede reducir la dependencia sobre los combustibles derivados de petróleo importado, el cual cada vez tiene menos disponibilidad y mayor costo en el mercado mundial (KAFUKU AND MBARAWA, 2010). La forma más extendida de producir biodiésel es la transesterificación, la cual es una reacción química catalizada en la que intervienen el aceite vegetal y un alcohol para dar lugar a ésteres alquílicos de ácidos grasos (biodiésel) y glicerol. La reacción de transesterificación puede llevarse a cabo utilizando catalizadores homogéneos, heterogéneos o enzimáticos (JEGANNATHAN *et al.*, 2008, p. 254).

Los métodos utilizados para la producción de biodiesel a partir de aceite de cocina usado son similares a los de los procesos de transesterificación convencionales. La selección de un proceso particular depende de la cantidad de ácido graso libre y del contenido de agua del aceite de cocina usado (MATH *et al.*, 2010 p. 339).

Con el fin de generar sostenibilidad y dar una perspectiva ambiental, la producción de biodiésel esta enfocada al uso de materias primas de residuo. Al contrario del biodiésel de primera generación, en el cual se utilizan aceites vegetales provenientes de plantaciones de soja y palma dedicadas específicamente a este uso; el biodiésel de segunda generación se produce a partir de la biomasa que se deriva de los materiales vegetales de desecho de los cultivos destinados a la alimentación que ya cumplieron su propósito alimentario, tales como los aceites ya utilizados en las cocinas de hogares y restaurantes. El consumo de este tipo de biodiésel es aún muy pequeño, pero es más sostenible que el de los de primera generación, puesto que no se utilizan tierras de cultivo específicamente para este propósito y se da un nuevo uso a los residuos producidos (LÓPEZ *et al.*, 2015, p. 159).

Teniendo en cuenta lo anterior, en este trabajo se hará una revisión en la literatura sobre la producción y consumo del diésel y el biodiésel, así como la producción de biodiesel de segunda generación a partir de aceites vegetales usados, las técnicas de producción y el uso de catalizadores, para de esta forma mostrar los beneficios que tiene esta alternativa ambiental.

2. Cifras en la producción y consumo de diésel y biodiésel. Situación del mercado

El diésel es uno de los tres combustibles más importantes para el transporte, además de la gasolina y los carburantes para aviones, los cuales impulsan el crecimiento del transporte en el mundo. El diésel originalmente era un producto obtenido directamente de la destilación del petróleo crudo. En la actualidad, el diésel se puede obtener también de diversos destilados craqueados seleccionados para aumentar el volumen disponible. Debido a que los motores diésel son intrínsecamente más eficientes desde el punto de vista térmico que los motores de gasolina, se espera que la demanda y el uso del diésel aumenten más en las próximas décadas en el siglo XXI. Sin embargo, los combustibles diésel también son considerados como "combustibles sucios" por el "humo negro" que sale del tubo de escape de algunos motores diésel (SONG *et al.*, 2000).

La creciente demanda de combustibles diésel y el aumento de las normas sobre las especificaciones de los combustibles, así como la reducción de las emisiones, han suscitado un gran interés en todo el mundo por el mejoramiento de la química del combustible, así como por el uso de alternativas ambientales (SPEIGHT, 2015, p. 156). Según la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEC) para 2020 la demanda de diésel a nivel mundial fue en promedio de 30,1 millones de barriles (mdb) al día, además que ha mantenido una tendencia lineal desde años anteriores, y se espera que para 2030 y 2040 la demanda no supere los 31 mdb al día. De acuerdo con la OPEC el diésel es el combustible de mayor consumo a nivel mundial, incluso de mayor cantidad que la gasolina y el gas licuado de petróleo (GLP) y a medida que su demanda aumenta, también lo hace su reformulación, con el fin de intentar disminuir los efectos contaminantes que dan lugar a su uso (OPEC, 2020).

Por otro lado, una alternativa al diésel, el biodiésel, ha mostrado un aumento significativo en su producción, así como en el uso como combustible apto, para la mayoría de motores diésel, funcionando como mezcla con el derivado petroquímico, e incluso puro. De acuerdo con el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), la producción y el consumo de biocombustibles líquidos han tenido un destacado crecimiento en los últimos veinte años, en particular, la producción de biodiésel y bioetanol, en forma conjunta, creció 928% entre el año 2000 y el 2019. Actualmente los biocombustibles líquidos forman parte de una transición más limpia en el marco de un paradigma de movilidad basada en la combustión interna. Los biocombustibles permiten una movilidad más limpia sin grandes cambios técnicos, al tiempo que constituyen alternativas de movilidad ambientalmente más sostenibles que los combustibles fósiles, además promueven el interés por contribuir a diversificar la matriz energética y por producir un impacto positivo en el desarrollo territorial y la agricultura familiar, a través de una demanda más estable de materias primas y la generación de empleo y valor agregado (IICA, 2020).

Cerca de 77% del biodiésel provienen de aceites vegetales (37% aceite de canola, 27% aceite de soya y 13% aceite de palma) o aceites de cocina de desecho (23%). En países como Estados Unidos, Brasil y Argentina la mayor parte del biodiésel se produce con aceite de soya, por otro lado en Colombia, Indonesia y Tailandia el aceite de palma es la principal materia prima; sin embargo, son China, India y algunos países de la Unión Europea, quienes lideran la producción de biodiésel a partir de aceite vegetal de desecho, promoviendo la producción de biocombustibles de segunda generación, los cuales tienen

un impacto ambiental positivo en comparación con el biodiésel producido en occidente (OCDE-FAO, 2020).

Los cinco principales productores de biodiésel en el mundo son Indonesia (16%), Estados Unidos (13%), Brasil (11%), Alemania (8%) y Francia (5%). El 47 % restante de la producción se distribuye en los otros países del mundo, con una participación destacada de Argentina, España, Países Bajos, Tailandia y Malasia. El consumo de biodiésel tiene un grado de participación relativamente descentrado, Estados Unidos, Indonesia, Brasil, Francia y Alemania tienen una participación del 14%, 13%, 12%, 8% y 5% sobre el total mundial, respectivamente. El 48% restante se distribuye en los demás países del mundo, con una participación importante de: España, Suecia, Tailandia, Reino Unido, Italia y Argentina (OCDE-FAO, 2020).

3. Aceites y grasas vegetales utilizados para la obtención de Biodiesel

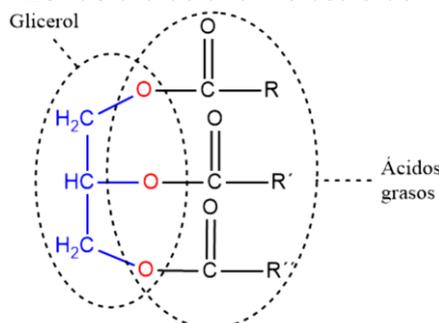
La materia prima juega un papel importante en la producción de biodiésel y el tipo de materia prima utilizada para generar este biocombustible difiere entre países en función de su ubicación geográfica y sus prácticas agrícolas. Según Atabani *et al.*, (2012) hasta el año 2012 se habían reportado más de 350 cultivos para la producción de biodiesel. Sin embargo, el aceite vegetal se mantiene como la materia prima preferida para la producción del biocombustible.

Entre los principales aceites usados en la producción del biodiesel se encuentran: los aceites comestibles convencionales como el aceite crudo de palma (CRABBE *et al.*, 2001), aceite de soja (MARTINS *et al.*, 2013), aceite de canola (ZHANG; YOU, 2015). Además de los aceites vegetales convencionales, existen otras especies más adaptadas a las condiciones del país donde se desarrollan y que mejor posicionadas en el ámbito de los cultivos energéticos, en este sentido, se destacan el uso, como materias primas para la producción de biodiésel, los aceites no comestibles como el de jatropha (DIWANI *et al.*, 2009), el aceite de semilla de caucho (GIMBUN *et al.*, 2013), el aceite de castor (HINCAPIÉ *et al.*, 2014); diversos aceites usados como el aceite de palma desodorizado (NASCIMENTO *et al.*, 2011), el de girasol usado (THIRUMARIMURUGAN *et al.*, 2012), el de cocina de segundo uso (KAWENTAR; BUDIMAN, 2013; BANERJEE *et al.*, 2014; FAROOQ *et al.*, 2015) y residuos de grasa animal (CUNHA *et al.*, 2013).

3.1. Composición química de los aceites y grasas vegetales

Las grasas y los aceites son principalmente sustancias hidrófobas, insolubles en agua, del reino vegetal y animal, que están formadas por una mol de glicerol y tres moles de ácidos grasos y se denominan comúnmente triglicéridos (ISLAM; RAVINDRA, 2017, p. 15). Los ácidos grasos varían en la longitud de la cadena de carbono y en el número de enlaces insaturados (dobles enlaces). La figura 1 muestra la unión de una molécula de glicerol, con tres moléculas de ácido graso (R, R' y R'' representan cadenas alifáticas saturadas e insaturadas dependientes del ácido graso).

Figura 1 – Estructura de una molécula de triglicérido



Fuente: Adaptado de Canakci and Sanli (2008)

Los ácidos grasos son casi en su totalidad ácidos carboxílicos alifáticos de cadena lineal. Su representación más amplia incluye todas las longitudes de cadena, pero la mayoría de los ácidos grasos naturales son C₄ a C₂₂, siendo más común el C₁₈. En la Tabla 1 se observan los ácidos grasos más importantes utilizados en la producción de biodiésel a partir de aceites vegetales.

Tabla 1 - Contenido de ácidos grasos de aceites vegetales utilizados en la producción de biodiésel

Ácido graso	Estructura del ácido graso	Encontrado en aceites
Laúrico	CH ₃ -(CH ₂) ₁₀ -COOH	Coco y semillas de palma
Mirístico	CH ₃ -(CH ₂) ₁₂ -COOH	Palma y mantecas
Palmítico	CH ₃ -(CH ₂) ₁₄ -COOH	Palma y oliva
Esteárico	CH ₃ -(CH ₂) ₁₆ -COOH	Cacao y mayoría de aceites vegetales
Palmitoleico	CH ₃ -(CH ₂) ₅ -CH=CH-(CH ₂) ₇ -COOH	Mayoría de aceites vegetales
Oleico	CH ₃ -(CH ₂) ₇ -CH=CH-(CH ₂) ₇ -COOH	Oliva, girasol, canola y palma
Linoleico	CH ₃ -(CH ₂) ₄ -CH=CH-CH ₂ -CH=CH-(CH ₂) ₇ -COOH	Soja y girasol
Linolénico	CH ₃ -CH ₂ -CH=CH-CH ₂ -CH=CH-CH ₂ -CH=CH-(CH ₂) ₇ -COOH	Lino
Araquidónico	CH ₃ -(CH ₂) ₄ -(CH=CH-CH ₂) ₃ -CH=CH-(CH ₂) ₃ -COOH	Canola

Fuente: Adaptado de Montenegro *et al.* (2012)

4. Aceites y grasas animales utilizados para la obtención de Biodiésel

Los aceites y grasas de animales, como el cebo de los vacunos (CUNHA *et al.*, 2013) y de la industria avícola (GAFARO, 2014), también pueden utilizarse como materia prima para la obtención de biodiésel. En comparación con los aceites vegetales, las grasas y aceites de origen animal son de costo más bajo, pero su disponibilidad comercial es más limitada por tratarse de subproductos de la industria.

En la Tabla 2 se muestra el perfil de ácidos grasos de las grasas animales más típicas. El cebo de res y la manteca de cerdo son más ricos en ácidos grasos saturados que la grasa de pollo, y llegan a tener proporciones similares o superiores a las del aceite de palma y sus fracciones semisólidas (MONTENEGRO *et al.*, 2012).

5. Aceite de cocina usado para la producción de biodiésel.

En todo el mundo se encuentran disponibles cantidades considerables de aceite vegetal usado. Estos se generan localmente donde los alimentos se cocinan o fríen en aceite. Una vez los aceites vegetales usados finalizan su vida útil, deberán tener una correcta disposición, estos pueden ser recolectados en envases plásticos bien sellados para ser reutilizados como materia prima para la obtención de diferentes productos con un valor agregado como: el compostaje en la agricultura, pinturas, barnices, lubricantes, jabones y en cosmética (YAGUE, 2003, p. 26). En la mayoría de los casos no se realiza una correcta disposición del aceite y grandes cantidades de estos se vierten ilegalmente en vertederos y ríos, lo que causa contaminación ambiental (MATH *et al.*, 2010, p. 339). La disposición final del aceite de cocina usado crea un desafío importante, debido a sus problemas de vertido y la posible contaminación de los recursos hídricos y terrestres. La producción de biodiésel a partir de aceite de cocina usado puede ser una buena alternativa para tratamiento de residuos, ya que evita el costo de eliminación o el impacto ambiental que podría ocasionar al ser vertido en cualquier lugar (SUPPLE *et al.*, 2002, p. 176).

Tabla 2 - Perfil de ácidos grasos de algunas grasas animales

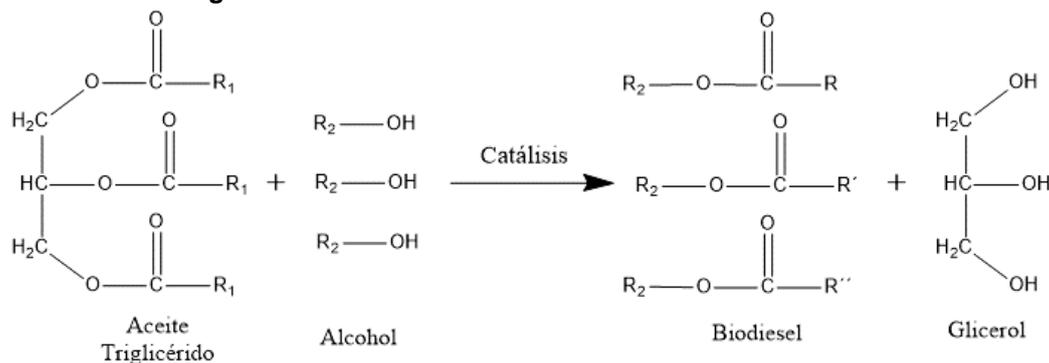
Tipo de ácido graso	Contenido de ácidos grasos en %p/p			
	Cebo de res	Manteca de cerdo	Grasa de pollo	
Saturados	Cáprico	0-0,1	0,1	0
	Laúrico	0,1	0,1	0
	Mirístico	2,7-4,8	1,4-1,7	1,3
	Palmítico	20,9-28,9	23,1-28,3	23,2
	Margárico	1	0,5	0,3
	Estearico	7-26,5	11,7-24	6,4
	Araquídico	0,9	0,2-0,3	0
	Behénico	0-0,1	0-0,4	0
	Lignocérico	Trazas	0-0,5	0
Monoinsaturados	Miristoleico	0,8-2,5	0-0,1	0,2
	Palmitoleico	2,3-9,1	1,8-3,3	6,5
	Eleaídico	20,4-48	29,7-45,3	41,6
	Eicosenoico	0,3-1,7	0,8-1,3	0
	Eúrico	Trazas	Trazas	0
	Nervónico	Trazas	0-0,5	0
Poliinsaturados	Linoleico	0,6-0,8	8,1-12,6	18,9
	Linolénico	0,3-0,7	0,7-1,2	1,3

Fuente: Adaptado de Montenegro *et al* (2012)

6. Métodos de producción de biodiesel a partir de aceite de cocina usado

El biodiesel se obtiene a partir de la transesterificación de aceite vegetal, que transforma cada molécula de triglicérido del aceite vegetal en tres moléculas de ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga, y una molécula de glicerol se libera como un subproducto (véase figura 2) (AVAGYAN; SINGH, 2019, p. 18). El proceso general para la producción de biodiésel a partir de aceites o grasas de cualquier tipo, que contienen triglicéridos, ocurre al hacer reaccionar catalíticamente la grasa o aceite con un alcohol alifático de cadena corta bajo ciertas condiciones, lo que da lugar a la formación del biodiesel, que son los ésteres alquílicos de los ácidos grasos unidos a la estructura del triglicérido, y como subproducto, el glicerol, el cual también hacía parte de la estructura del aceite, como se observa en la Figura 2.

Figura 2 – Proceso catalítico de transesterificación en la producción de biodiesel a partir de aceites o grasas en reacción con un alcohol de cadena corta



Fuente: Adaptado de Avagyan and Singh (2019)

Los métodos utilizados para la producción de biodiesel a partir de aceite de cocina usado son similares a los de los procesos de transesterificación convencionales. La selección de un proceso particular depende de la cantidad de ácido graso libre y del contenido de agua del aceite de cocina usado (MATH *et al.*, 2010 p. 339). El proceso de producción de biodiesel se lleva a cabo por métodos catalíticos o no catalíticos. Los métodos catalíticos se pueden clasificar en catalizadores químicos homogéneos, catalizadores sólidos heterogéneos y biocatalizadores (INAMUDDIN *et al.*, 2021, p. 7). Los métodos no catalíticos incluyen el uso de alcoholes, de fluidos supercríticos o de líquidos iónicos en el sistema de reacción para producir el biodiésel (KAFUKU *et al.*, 2015, p. 552). En esta revisión se mencionan solo los métodos catalíticos ya que son los más utilizados para la producción de biodiesel a partir del aceite de cocina usado.

6.1. Catálisis alcalina

El uso de catalizadores alcalinos para la transesterificación del aceite de cocina usado es la técnica más comúnmente utilizada por la industria (MANDOLESI *et al.*, 2013, p. 446). Es el proceso más utilizado porque solo requiere temperaturas moderadas, presiones bajas y también tiene una alta eficiencia de conversión (98%). Este proceso requiere poco tiempo y hay una conversión directa de biodiesel sin pasos intermedios (MATH *et al.*, 2010 p.442). Los catalizadores más utilizados son el hidróxido de potasio (KOH) y el hidróxido de sodio (NaOH) (MARCHETTI *et al.*, 20017, p. 1302).

6.2. Catálisis ácida

La transesterificación de triglicéridos puede catalizarse habitualmente mediante ácidos inorgánicos tales como ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, ácido fosfórico y ácidos orgánicos como el ácido sulfónico. Esta catálisis comienza con el mezclado del aceite directamente con alcohol acidificado, de manera que la separación y transesterificación puede ocurrir en un solo paso, siendo el alcohol el solvente de esterificación y el reactivo (LUQUE *et al.*, 2008, p. 77). También se han utilizado ácidos de Bronsted y Lewis como catalizadores ácidos para la producción de biodiesel (MANDOLESI *et al.*, 2013, p. 447).

Las ventajas de utilizar catalizadores ácidos son: la insensibilidad al índice de acidez; la esterificación y la transesterificación pueden realizarse simultáneamente; el catalizador es fácil de recuperar; altos rendimiento en ésteres; menor requerimiento de catalizador por tonelada de materia prima. Sin embargo, tiene las desventajas de que estos sistemas operan a temperaturas y presiones altas, además que su mayoría son catalizadores tóxicos para el medio ambiente (MANDOLESI *et al.*, 2013, p. 447).

6.3. Catálisis enzimática

El biodiésel a partir del aceite de cocina usado también se puede producir a partir de procesos de transesterificación biocatalítica en presencia de enzimas como la lipasa. Este proceso tiene muchas ventajas sobre el proceso de transesterificación catalizada químicamente, como la nula generación de subproductos, no hay dificultad en la eliminación del producto, requiere condiciones de proceso moderadas y hay óptimo retorno de los catalizadores (MATH *et al.*, 2010 p. 444).

Conclusiones

El biodiesel como combustible alternativo a los motores diésel se ha vuelto más importante y de mucho estudio debido a los impactos ambientales negativos del diésel a base de petróleo. Los principales desafíos para la inclusión de este biocombustible en el mercado son su costo y disponibilidad de materia prima como aceites vegetales y grasas animales.

Con la presente revisión bibliográfica se ha podido demostrar que la obtención de biodiesel a partir del aceite usado de cocina es una muy buena alternativa ya que el costo del biodiesel se reduce considerablemente y se minimiza el impacto negativo de la eliminación del aceite usado en el medio ambiente. El consumo de este tipo de biodiésel es aún muy pequeño, pero es más sostenible que el biodiesel de primera generación, ya que no se utilizan tierras de cultivo específicamente para este propósito y se da un nuevo uso a los residuos producidos.

Referencias

ATABANI, A. E.; SILITONGA, A. S.; BADRUDDIN, I. A.; MAHLIA, T. M.; MASJUKI, H. H.; MEKHILEF, S. A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 4, p. 2070-2093, 2012.

AVAGYAN, A. B.; SINGH, B. **Biodiesel: Feedstocks, technologies, economics and barriers: Assessment of environmental impact in producing and using chains**. Singapore: Springer, 2019. p. 15-76.

BANERJEE, N.; RAMAKRISHNAN, R.; JASH, T. Biodiesel production from used vegetable oil collected from shops selling fritters in Kolkata. **Energy procedia**, v. 54, p. 161–165, 2014.

CANAKCI, M.; SANLI, H. Biodiesel production from various feedstocks and their effects on the fuel properties. **Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology**, v. 35, n.5, p. 431–441, 2008.

CRABBE, E.; NOLASCO, H. C.; KOBAYASHI, G.; SONOMOTO, K.; ISHIZAKI, A. Biodiesel production from crude palm oil and evaluation of butanol extraction and fuel properties. **Process Biochemistry**, v. 37, n. 1, p. 65–71, 2001.

CUNHA, A.; FEDDERN, V.; PRÁ, M. C.; HIGARASHI, M. M.; DE ABREU, P. G.; COLDEBELLA, A. Synthesis and characterization of ethylic biodiesel from animal fat wastes. **Fuel**, v. 105, p. 228–234, 2013.

EL DIWANI, G.; ATTIA, N. K.; HAWASH, S. I. Development and evaluation of biodiesel fuel and by-products from jatropha oil. **International Journal of Environmental Science and Technology: IJEST**, v. 6, n. 2, p. 219–224, 2009.

FAROOQ, M.; RAMLI, A.; NAEEM, A. Biodiesel production from low FFA waste cooking oil using heterogeneous catalyst derived from chicken bones. **Renewable Energy**, v. 76, p. 362–368, 2015.

GAFARO, D. **Evaluación del potencial de la grasa del pollo como materia prima para la obtención de biodiésel**. Cúcuta, 122 p. 2014. Trabajo de grado - Universidad Francisco de Paula Santander.

GIMBUN, J.; ALI, S.; CHARAN, C. S.; SHAH, L. A.; GHAZALI, N. H.; CHENG, C. K.; NURDIN, S. Biodiesel production from rubber seed oil using A limestone based catalyst. **Advances in materials physics and chemistry**, v. 2, n.4, p. 138–141, 2012.

HINCAPIÉ, G. M.; VALANGE, S.; BARRAULT, J.; MORENO, J. A.; LÓPEZ, D. P. Effect of microwave-assisted system on transesterification of castor oil with ethanol. **Universitas scientiarum**, v.19, n.3, p. 193-200, 2014.

HUBER, G. W.; IBORRA, S.; CORMA, A. Synthesis of transportation fuels from biomass: chemistry, catalysts, and engineering. **Chemical reviews**, v.106, n.9, p. 4044–4098, 2006.

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). **Atlas de los biocombustibles líquidos 2019-2020**. Disponible en:< <https://www.iica.int/es>> Acceso en: 12 sep. 2021.

INAMUDDIN, I.; AHAMED, M. I.; BODDULA, R.; REZAKAZEMI, M. **Biodiesel Technology and Applications**. Wiley, 2021. p. 1-58.

ISLAM, A.; RAVINDRA, P. **Biodiesel Production with Green Technologies**. Londres: Springer, 2017. p. 7-46.

JEGANNATHAN, K. R.; ABANG, S.; PONCELET, D.; CHAN, E. S.; RAVINDRA, P. Production of biodiesel using immobilized lipase, a critical review. **Critical reviews in biotechnology**, v. 28, n.4, p. 253–264, 2008.

KAFUKU, G.; LEE, K. T.; MBARAWA, M. Non-catalytic and catalytic transesterification: A reaction kinetics comparison study. **International journal of green energy**, v. 12, n. 5, p. 551–558, 2015.

KAFUKU, G.; MBARAWA, M. Alkaline catalyzed biodiesel production from moringa oleifera oil with optimized production parameters. **Applied Energy**, v. 87, n. 8, p. 2561-2565, 2010.

KAWENTAR, W. A.; BUDIMAN, A. Synthesis of biodiesel from second-used cooking oil. **Energy Procedia**, v. 32, p. 190–199, 2013.

LÓPEZ, L.; BOCANEGRA, J.; MALAGÓN, D. Obtención de biodiesel por transesterificación de aceite de cocina usado. **Ing. Univ.**, v. 19, n. 1, p. 155-172, 2015.

LUQUE, S.; CERVERÓ, J. M.; COCA, J. Production of biodiesel from vegetable oils. **Grasas y aceites**, v. 59, n.1, p.76-83, 2008.

MANDOLESI, C. D.; DE ANDRADE, C. C.; DE SOUZA E SILVA, E.; DUPAS, F. A. Biodiesel production from used cooking oil: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 27, p. 445–452, 2013.

MARCHETTI, J. M.; MIGUEL, V. U.; ERRAZU, A. F. Possible methods for biodiesel production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 11, n. 6, p. 1300–1311, 2007.

MARTINS, M. I.; PIRES, R. F.; ALVES, M. J.; HORI, C. E.; REIS, M. H.; CARDOSO, V. L. Transesterification of soybean oil for biodiesel production using hydrotalcite as basic catalyst. **Chemical Engineering Transactions**, v. 32, p. 817-822, 2013.

MATH, M. C.; KUMAR, S. P.; CHETTY, S. V. Technologies for biodiesel production from used cooking oil — A review. **Energy for Sustainable Development: The Journal of the International Energy Initiative**, v.14, n.4, p. 339–345, 2010.

MONTENEGRO, M. A.; SIERRA, F. E.; GUERRERO, C. A. Producción caracterización de biodiésel a partir de aceite de pollo. **Informador técnico**, v.76, p. 62-71, 2012.

MURUGESAN, A.; UMARANI, C.; SUBRAMANIAN, R.; NEDUNCHEZHIAN, N. Bio-diesel as an alternative fuel for diesel engines-A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 3, p. 653-662, 2009.

NASCIMENTO, L. A.; ANGÉLICA, R. S.; DA COSTA, C. E.; ZAMIAN, J. R.; DA ROCHA G. N. Conversion of waste produced by the deodorization of palm oil as feedstock for the production of biodiesel using a catalyst prepared from waste material. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 17, p. 8314–8317, 2011.

OECD/FAO. **OECD Agriculture Statistics**. Disponible en:<https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/data/oecd-agriculture-statistics_agr-data-en> Acceso en: 26 agosto 2021.

- OLIVEIRA, C.; COELHO, T. History, evolution, and environmental impact of biodiesel in Brazil: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 75, p. 168-179, 2017.
- OPEC (Organization of the Petroleum Exporting Countries). **World Oil Outlook 2020-2045**. Disponible en: < <https://wo.opec.org/pdf-download-es/> > Acceso en: 22 agosto 2021.
- SONG, C.; HSU, C. S.; MOCHIDA, I. **Chemistry of Diesel Fuels (1ª ed.)**. New York: CRC Press, 2000.
- SPEIGHT, J. G. **Handbook of Petroleum Product Analysis**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2015. p. 155-168.
- THIRUMARIMURUGAN, M.; SIVAKUMAR, V. M.; XAVIER, A. M.; PRABHAKARAN, D.; KANNADASAN, T. Preparation of biodiesel from sunflower oil by transesterification. **International journal of bioscience, biochemistry, bioinformatics (IJBBB)**, v. 2, n. 6, p. 441–444, 2012.
- YAGUE. A. **Estudio de utilización de aceites para fritura en establecimientos alimentarios de comidas preparadas**. Universidad Autónoma de Barcelona, Campus de Bellaterra, 2003.
- ZHANG, Y.; YOU, H. Study on biodiesel production from rapeseed oil through the orthogonal method. **Energy Sources Part A Recovery Utilization and Environmental Effects**, v. 37, n. 4, p. 422–427, 2015.