

Obtención de biodiesel a partir de la transesterificación de aceite de soja

Obtaining biodiesel from the transesterification of soy oil

Jodie Lynn Mera Perea

Ivana Sophia Cedeño Vera

Segundo Alcides García Muentes

Ramón Eudoro Cevallos Cedeño

Gonzalo Oswaldo García Vincés

Adriana Gabriela García Ávila

Fecha de recepción: 24 de Agosto del 2023

Fecha de aceptación: 14 de Septiembre del 2023

Obtención de biodiesel a partir de la transesterificación de aceite de soja

Obtaining biodiesel from the transesterification of soy oil

Jodie Mera¹, Ivana Cedeño², Segundo García³, Ramón Cevallos⁴, Gonzalo García⁵, Adriana García⁶.

Como citar: Mera J., Cedeño I., García S., Cevallos R., García G., García A (2024). Obtención de biodiesel a partir de la transesterificación de aceite de soja. *Revista Universidad de Guayaquil*. 138 (1), pp.: 50-61. DOI: <https://doi.org/10.53591/rug.v138i1.2337>

RESUMEN

Actualmente, el biodiesel se ha convertido en una alternativa para la sustitución parcial del diésel convencional, debido al bajo costo de su materia prima y una baja emisión de gases contaminantes. El objetivo de esta investigación fue obtener biodiesel a partir del proceso de transesterificación de aceite de soja. El método empleado sirvió de base en la caracterización del mismo para determinar si los parámetros estuvieran dentro del rango establecido por la legislación internacional respecto a la obtención de biodiesel *ASTMD6751* y *EN14214*. Se emplearon tres tiempos en 30, 45 y 60 minutos, siendo el último el que proporcionó los mejores resultados respecto a los siguientes parámetros: una densidad de 875 kg/m³, viscosidad de 3,18 mm²/s, porcentaje de humedad 0,029 % y un índice de acidez de 0,26 mgKOH/g, alcanzando el mayor rendimiento en este tiempo de 69,01%. En conclusión, puede establecerse que tanto el aceite y biodiesel obtenido cumplen con las normas internacionales y sobre todo que podría servir en la obtención de biocombustibles empleando aceites vegetales por lo que abre la posibilidad de utilizarlo en equipos mecánicos de combustión interna.

PALABRAS CLAVE: Aceite, transesterificación, diésel.

ABSTRACT

Currently, biodiesel has become an alternative for the partial replacement of conventional diesel, due to the low cost of its raw material and low emission of polluting gases. The objective of this research was to obtain biodiesel from the soybean oil transesterification process. The method used served as the basis for its characterization to determine if the parameters were within the range established by international legislation regarding the production of biodiesel *ASTMD6751* and *EN14214*. Three times were used in 30, 45 and 60 minutes, the last one being the one that provided the best results with respect to the following parameters: a density of 875 kg/m³, viscosity of 3.18 mm²/s, humidity percentage 0.029 % and an acidity index of 0.26 mgKOH/g, reaching the highest yield in this time of 69.01%. In conclusion, it can establish that both the oil and biodiesel obtained comply with international standards and above all that it could be used to obtain biofuels using vegetable oils, which opens the possibility of using it in mechanical internal combustion equipment.

KEY WORDS: Oil, transesterification, diesel.

¹ Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. Email: jmera9176@utm.edu.ec, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3486-0924>

² Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. Email: icedeno3060@utm.edu.ec, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1002-8547>

³ Doctor en Química y Farmacia, Docente Titular de la Carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas. Docente Titular de la Facultad de Medicina de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. Email: segundo.garcia@utm.edu.ec, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8152-3406>

⁴ Doctor dentro del programa de doctorado en Ciencia, Tecnología y Gestión Alimentaria. Magíster en procesamiento de Alimentos. Ingeniero Agroindustrial. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. Email: ramon.cevallos@utm.edu.ec, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8583-4674>

⁵ Licenciado Químico-Biólogo y Profesor de Segunda Enseñanza. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. Email: gonzalo.garcia@utm.edu.ec, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9819-7451>

⁶ Doctora cirujano del Hospital Holístico Energía Vida. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. Email: adr_i92@hotmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7862-7063>



El crecimiento económico, el desarrollo industrial y tecnológico, dependen principalmente del suministro de energía para la producción de electricidad, calefacción, transporte e industria (Islam *et al.*, 2014). La demanda mundial de esta fuente está en constante crecimiento y la preocupación actual es cómo satisfacer la futura demanda energética, puesto que, durante años se ha empleado combustibles fósiles como fuente de energía primaria (carbón, diésel, gasolina, petróleo y gas natural) (Zou *et al.*, 2016).

Sin embargo, su disponibilidad es limitada y las constantes emisiones de gases de efecto invernadero (dióxido de azufre, óxido de nitrógeno y dióxido de carbono), las emisiones de carbono negro, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), mercurio y productos químicos volátiles (Perera, 2018), representan un gran problema de principal preocupación para la comunidad científica y ambientalista. Entre los diversos productos derivados del petróleo, el diésel es el combustible más utilizado, y su utilización está creciendo continuamente en todo el mundo debido a la mayor eficiencia termodinámica y economía de combustible de los motores diésel sobre sus contrapartes de gasolina. Sin embargo, los motores diésel emiten gases que aumentan el calentamiento global y sustancias que agotan la capa de ozono contribuyendo significativamente a los problemas ambientales (Aghbashlo *et al.*, 2021). En este sentido, se presenta como alternativa el biodiésel, el cual genera menos emisiones de gases contaminantes y sustancias perjudiciales para la salud y el medio ambiente.

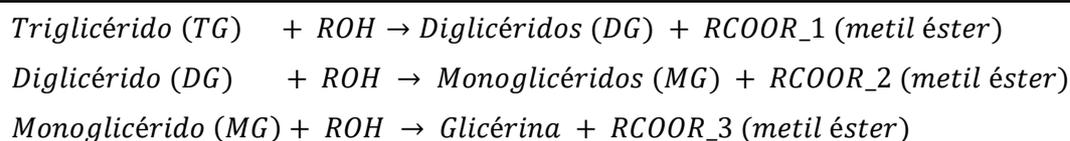
En Ecuador, se precisa la utilización de combustibles fósiles (petróleo) como la alternativa más utilizada para la generación de energía correspondiendo un 89% del ofrecimiento de fuentes energéticas en el país (Llanes *et al.*, 2017), donde se evidencia la falta de alternativas que reduzcan la dependencia hacia el consumo del petróleo.

Químicamente el biodiésel está formado por mezclas de productos en la transesterificación de los triglicéridos; este producto está formado por un sinnúmero de metil-esteres entre los se menciona metil-palmitato, metil-esterato, metil-oleato, metil-linoleato, metil-linolenato, y entre otros en menor proporción como se puede observar tanto los biodiésel como los triglicéridos de las grasas animales y aceites vegetales están formados por cadenas largas de ácidos carboxílicos (Castellar Ortega *et al.*, 2014).

El mecanismo de la reacción de transesterificación involucra tres pasos consecutivos irreversibles: El triglicérido se transforma en diglicérido y se forma la primera molécula de metil-esteres, luego el diglicérido se transforma en monoglicérido dando lugar a la formación de la segunda molécula de metil-esteres y finalmente el monoglicérido forma la tercera molécula de metil-esteres y la primera molécula de glicerina o glicerol (Navas *et al.*, 2015). A continuación, se muestra la figura 1.

Figura 1.

Representación esquemática de triglicérido, diglicéridos y monoglicéridos.



Nota: Tomada "Producción e Impacto del Biodiésel: Una Revisión. Llanes, A., Rocha, J., Salazar, P. & Medrano, J. (2017). INNOVA, Vol. 2, No.7 pp. 59-76..

Hoy en día, los aceites vegetales representan el 90% de la materia prima usada para producir biodiésel a escala mundial. La transformación del aceite de soja en metil esterres se da por el proceso de transesterificación, misma que constituye una tecnología líder aplicada para producir biodiésel (Souza *et al.*, 2018). El aceite de soja es utilizado en la industria alimenticia, en producción de biodiésel y también como materia prima en la producción de grasas lubricantes (Nascimento *et al.*, 2013).

Tabla 1.

Composición fisicoquímica del aceite de soja en términos de ácidos grasos

Ácido graso	Contenido de ácidos grasos (%)
Mirístico	0,08
Palmítico	11,34
Palmitoleico	0,08
Esteárico	3,87
Oleico	22,63
Linoleico	55,23
Linolénico	6,77

Nota: Tomado “Síntesis de Resinas Alquílicas a partir de Aceites de Higuierilla, de Palma y de Fritura, Mezclados con Aceite de Soja. *Información tecnológica*, 24(4), 33-42.” Cardeño, F., Ríos, L. A., Cardona, J. F., & Ocampo, D. (2013). 24(4), 33-42.

La tabla 1, establece que el mayor porcentaje de ácidos grasos presente en el aceite de soja corresponde al ácido Linoleico, con el 55,23% de su composición.

Los catalizadores más usados en la transesterificación son de tipo ácidos, bases y enzimáticas y se caracterizan como catalizadores homogéneos y heterogéneos. La catálisis básica homogénea en la producción de biodiesel son las más empleadas: el hidróxido de sodio y el hidróxido de potasio a nivel industrial ayuda a menor temperaturas, presiones bajas; por tanto, a mayor velocidad de reacción, se corren menos los equipos (Castillo Fernández, 2018).

El presente trabajo, pretende obtener biodiesel a partir de aceite de soja, caracterizando el mismo y analizando si este encuentra dentro de las normas internacionales para biodiesel ASTM D6751 y EN14214; contribuyendo con ello a la aplicación de procesos que sean más amigables con el medio ambiente y que a su vez sean sostenibles.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este artículo presentó una metodología experimental de transesterificación para producir biodiesel, esta investigación se la realizó en el laboratorio de química analítica de la facultad de ciencias matemáticas, físicas y química de la Universidad Técnica de Manabí se usó metanol y se utilizó *aceite de soja*.

La muestra utilizada de aceite de soja fue obtenida del microemprendimiento denominado “*Agrosoja*”; el volumen de muestra fue de un galón (americano) de aceite de soja previamente tratado.

Caracterización de materia prima y biodiesel se realizaron análisis físico - químicos respecto a: densidad, índice de acidez, viscosidad, índice de peróxido, índice de yodo, índice de saponificación y humedad, por triplicado, según lo establece la norma ASTM 6751 y EN 14214.

Variabes de Operación se realizó en tres tiempos 30, 45 y 60 min. A una temperatura de 60 °C y con una agitación constante empleando en una placa de calefacción a 600 rpm.

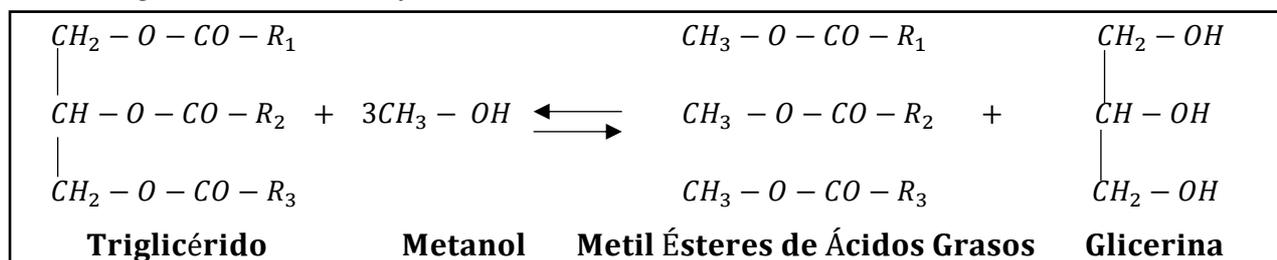
Transesterificación alcalina

Para el proceso de la transesterificación, se utilizó una relación molar metanol: aceite de soja de 6:1, se pesó 100 g de aceite de soja en un matraz Erlenmeyer y se calentó en la placa calefactora homogenizando con una pastilla hasta llegar a la temperatura de 60 °C. Por otro lado, en una probeta se añadieron 27,4 ml de metanol al cual se agregó 1g de NaOH puro, el cual constituye el 1% en función de la cantidad de aceite utilizado; esta mezcla se homogenizó hasta que el NaOH se diluya completamente. Este proceso se realizó con el fin de formar metóxido de sodio, el mismo que ayudó

a la reacción del aceite con el metanol, y que el hidróxido entre como catalizador y no como parte de la reacción evitando con ello la saponificación.

Figura 2.

Reacción global de transesterificación



Nota: Tomada “Cinética de la reacción de transesterificación para la producción de biodiesel a partir del aceite de *Jatropha curcas* L., en la provincia de Manabí, Ecuador”. García-Muentes, S. A., Sánchez del Campo-Lafita, A. E., Labrada-Vázquez, B., Lafargue-Pérez, F., & Díaz-Velázquez, M. (2018). *Tecnología Química*, 38(2), 281-297.

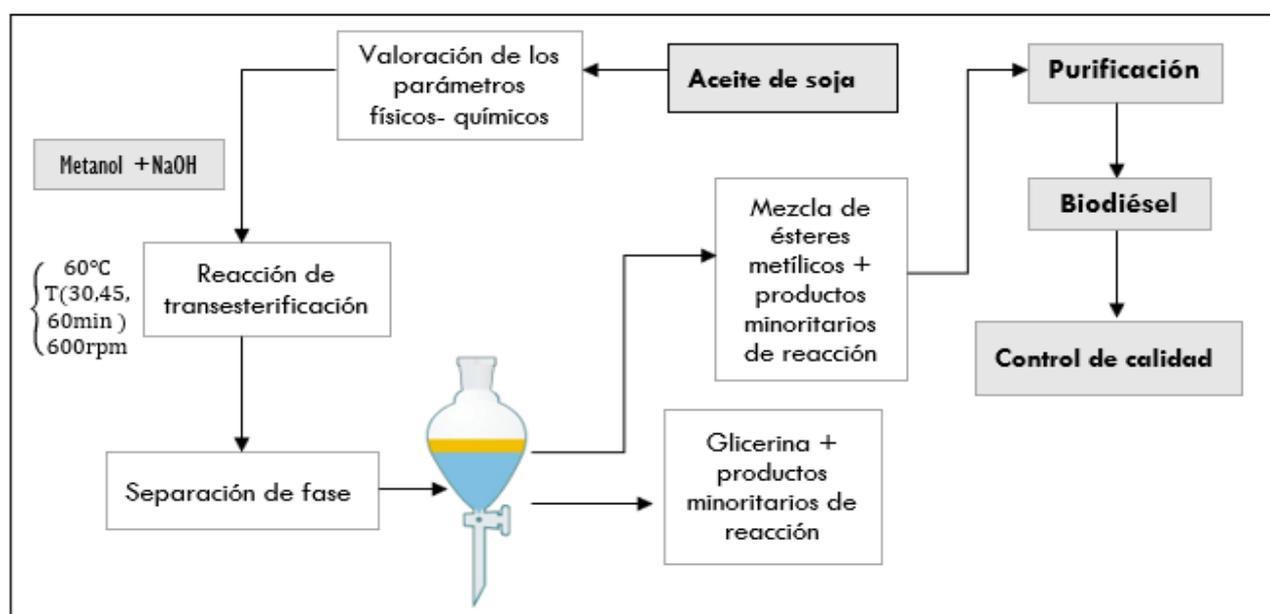
Una vez que el aceite alcanzó los 60 °C, se agregó metóxido de sodio y una pastilla homogeneizadora, contando desde este momento el tiempo establecido para la reacción. Terminada la reacción de transesterificación, se sumergió el matraz en una bandeja con agua a una temperatura de 10 °C con el objetivo de frenar la reacción.

Posterior a esto, el biodiesel se colocó en un embudo de decantación. Luego de 24 h, se procedió a separar las fases (biodiesel en la parte superior y glicerina en la parte inferior).

Seguidamente, se realizó el lavado de biodiesel; para esto, se empleó un embudo de decantación y agua destilada, en un volumen aproximado a la tercera parte de los metil-ésteres. Este lavado se lo realizó a 40°C, y quedando en reposo durante dos horas. El proceso se realizó por quintuplicado en cada muestra. Finalmente, se realizó el lavado, donde se colocó la muestra en la estufa de secado a 112 °C durante una hora para eliminar probablemente restos de agua presente.

Figura 3.

Esquema operacional general del proceso para obtener biodiesel a partir de aceite de soja a escala laboratorio



Nota: “Reacciones en contexto: la transesterificación en la producción de biodiesel a partir de aceite de fritura usado. *Anales de Química de la RSEQ*”, Torossi Baudino, F. D. T. (2006). (3), 43-49.

Análisis fisicoquímicos aplicados

Densidad: para el cálculo de la densidad, se aplicó el método del picnómetro a una temperatura de 40 °C y 15 °C. Para ello, se procedió a pesar el picnómetro vacío, el peso del picnómetro con la muestra de aceite de soja y del biodiesel; líquido del cual se conoce su densidad. Para realizar los cálculos se procedió a dividir la masa para el volumen del picnómetro. El resultado se expresa en las siguientes unidades en g/ml o kg/m³

Índice de acidez: Este parámetro se obtiene al neutralizar los ácidos grasos libres de la muestra con una solución del 0,1N de hidróxido de potasio:

$$\text{Índice de acidez} = \frac{V \times N \times EqKOH}{\text{peso de la muestra}} \quad (\text{Ec. 1})$$

En donde:

V: volumen de KOH consumido en la titulación

N: normalidad del KOH (0,078)

P: peso de la muestra

EqKOH = (56.1)

Unidad en la que se expresa el índice de acidez: mgKOH/g de muestra.

Viscosidad: esta fue calculada mediante el viscosímetro de Oswald. Aplicando la fórmula:

$$\eta = \frac{\eta_{H_2O}}{\eta_{\text{fluido}}} = \frac{\rho_{H_2O} t_{H_2O}}{\rho_{\text{fluido}} t_{H_2O}} \quad (\text{Ec. 2})$$

De donde:

η = Viscosidad dinámica

ρ = Densidad

t = Tiempo

En el caso de los cálculos de la viscosidad cinemática se realizó usando la siguiente ecuación:

$$\varphi = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{Ec. 3})$$

De donde:

φ = Viscosidad cinemática

ρ = Densidad

μ = Viscosidad dinámica (Mott, 1996)

Índice de peróxido: se procedió a la preparación de tres soluciones: ácido acético-cloroformo (3:2 volumen-volumen), yoduro de potasio, tiosulfato de sodio y se utiliza como indicador una solución de almidón al 1% en una solución acuosa. Los cálculos se realizaron en la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de peróxido} = \frac{S - B \times N \times 100}{\text{peso de la muestra}} \quad (\text{Ec. 4})$$

S: volumen de titulación de la muestra
 B: volumen de titulación del blanco
 N: normalidad del tiosulfato de sodio (Ayala Ramírez, 2011)

Índice de yodo: para esta determinación en el aceite de soja y del biodiesel, se usaron soluciones de tetracloruro de carbono, solución de Wijs, de yoduro de potasio y también la solución de almidón al 1% como indicador.

El cálculo se realiza con la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de yodo} = \frac{(B - S) \times N \times 0,1269 \times 100}{\text{peso de la muestra}} \quad (\text{Ec. 5})$$

De donde:

B: volumen de la titulación del blanco
 S: volumen de la titulación de la muestra
 N: Tiosulfato de sodio normalidad (Arriola Gómez & Monjaras Blanco, 2003)

Índice de saponificación: se la realizó mediante el proceso de titulación. Para esto, el aceite utilizado se saponificó con un exceso medido de NaOH y luego se valoró el excedente de NaOH frente a HCl normalizado con fenoltaleína como indicador. La fórmula utilizada fue:

$$\text{Índice de saponificación} = \frac{(B - M) \times N}{\text{peso de la muestra}} \times \text{Eq. NaOH} \quad (\text{Ec. 6})$$

De donde:

B: volumen consumido de HCl para (ensayo en blanco)
 M: volumen consumido de HCl para la (muestra)
 N: normalidad
 Eq: el equivalente químico del NaOH.

Humedad: se colocó la muestra en una cápsula de porcelana previamente tarada, pesada y luego se determinó el peso de la muestra; posterior a esto, se colocó en la estufa durante una hora, a 100 °C. Transcurrido este tiempo, se sacó la muestra y se procedió a pesarla de nuevamente. El cálculo del porcentaje de humedad viene expresado mediante la siguiente formula:

$$\% \text{ de humedad} = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad (\text{Ec. 7})$$

De donde:

M₁ = masa de la muestra inicial
 M₂ = masa de la muestra final (Álvarez J., 2013)

Rendimiento del Biodiesel

Se realizó un balance de materia para determinar el porcentaje del rendimiento del biodiesel obtenido posterior a la transesterificación del aceite de soja, se utilizó la fórmula:

$$\% \text{ rendimiento de biodiesel} = \frac{m_{\text{biodiesel experimental}}}{m_{\text{biodiesel teórico}}} \times 100 \text{ (Ec. 8)}$$

Teniendo en cuenta que el ácido graso predominante en este aceite es el ácido linoleico (Cardeño *et al.*, 2013) afirman que es necesario determinar el ácido predominante del aceite para utilizar su peso molecular en el desarrollo de la fórmula estequiométrica y obtener el rendimiento del biodiesel.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos experimentalmente del trabajo de investigación analizando del *aceite de soja y biodiésel*; los datos se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 2.

Caracterización de la muestra inicial y resultados comparativa en las normas para la determinación de las propiedades y calidad del aceite de soja

Parámetros	Resultados	Unidad	Técnica	Máx.	Métodos de ensayo
Índice de acidez	0,36	mgKOH/g de aceite	Valoración Acido-base	-	ASTM D6751
Densidad	912	Kg/m ³	Picnometría	Máx. 924	NTE INEN 2182
Índice de peróxido	9,58	meqO ₂ /kg de aceite	Equipo normalizado	Máx. 10	NTE INEN 277
Viscosidad	25,67	mm ² /s	Viscosimetría	-	ASTM D-445
Humedad	0,033	%	Equipo normalizado	-	ASTM D6751
Índice de saponificación	206,8	mgKOH/g de aceite	Equipo normalizado	-	ASTM D558
Índice de yodo	109,39	g I ₂ /100g de aceite	Equipo normalizado	89-112	EN 41111

Nota, la tabla 2 muestra los resultados obtenidos luego de la caracterización a la muestra inicial que en este caso fue el aceite de soja y la comparación respecto a las normas donde se aplica este tipo de estudio.

Las técnicas empleadas para dicho trabajo fueron aquellas que están establecidas para este trabajo. Tal como se muestran los resultados de la tabla 2 en todos los parámetros estudiados, el aceite de soja cumplió con las normas establecidas, tales como: índice de acidez, densidad, índice de peróxido, entre otros.

Tabla 3

Resultados caracterización Biodiesel obtenido, tabla comparativa de las normas ASTM 6751 Y EN 14214, la misma que hace referencia para la determinación de las propiedades de biodiesel

Propiedades	Unidades	Técnica	Norma ASTM 6751	Norma EN 14214	Resultado de Biodiesel (tiempo, min)		
					30	45	60
Densidad a 40°C	Kg/m ³	Picnometría	870-890	-	887	886	875
Densidad a 15°C	Kg/m ³	Picnometría	-	860-900	899	889	883
Viscosidad a 40°C	mm ² /s	Viscosimetría	1,9-6,0	3,50-5,00	3,96	3,41	3,18
Humedad	%	Equipo normalizado	Máx.0,05	Máx.0,05	0,044	0,039	0,029
Índice de acidez	mgKOH/g	Valoración acido- base	Máx.0,80	Máx.0,05	0,35	0,31	0,26
Índice de yodo	g I ₂ /100g de biodiesel	Yodometría	-	Máx.120	107,03	107,14	107,38
Rendimiento	%	Cálculo estequiométrico	-	-	67,76	68,65	69,01

Nota: la tabla 3, se muestran los resultados obtenidos en el presente del trabajo y comparados con los rangos sobre dichos parámetros de García- Muentes,2018. Todos los parámetros del biodiesel se encontraron dentro de las normas establecidas y la caracterización del biodiesel obtenido mediante transesterificación aplicando metanol, el mismo que se realizó por triplicado en los tres tiempos ensayados (30, 45 y 60 minutos)

En la tabla 3, los tres tiempos ensayados y por triplicado para el rendimiento mediante el cálculo estequiométrico, no se observó diferencia significativa entre ellos. De igual manera, sucedió con los demás parámetros en todos los casos y la comparación de las normas en los tres tiempos antes mencionados, el parámetro densidad a 40 °C estuvo dentro de los rangos establecidos respecto a la norma ASTM 6751, de igual manera este mismo parámetro a 15°C, también estuvo dentro de la norma EN 14214. Respecto a la viscosidad a 40 °C, tanto para la norma ASTM 6751 y EN 14214, el biodiesel obtenido estuvo de lo establecido; así como también con la humedad, el índice de acidez e índice de yodo.

Finalmente, sobre el rendimiento, no se reportan valores en las mencionadas normas. No obstante, para los tres tiempos ensayados, el porcentaje de rendimiento estuvo alrededor del 65 a 70%, en todos los casos.

DISCUSIÓN

La muestra de aceite de soja caracterizada presentó un índice de acidez de 0,36 mg KOH/g de aceite, resultado en la (Tabla 2), siendo este un valor adecuado para llevar a cabo el proceso de transesterificación sin tener que usar un método previo de esterificación, el cual es aplicado cuando el índice de acidez de un aceite es muy elevado. En su investigación (Palomino & Carrión, 2016) consiguieron un valor cercano para el aceite de un 0,3 mg KOH/g aceite. El índice de acidez es muy importante para el proceso de la reacción de transesterificación, ya que al estar muy elevado los ácidos grasos reaccionan con el catalizador y causan saponificación, lo que lleva a reducir el rendimiento de la producción de biodiesel (Nieves. 2018).

Se obtuvo una densidad de 912 kg/m³, se observa el resultado en la (Tabla 2) considerándose que es un valor que está dentro del rango de los aceites previo a la transesterificación. En la investigación otros autores (Castellar Ortega et al., 2014) afirmó que se estableció un valor cercano de 910 kg/m³

para el aceite de soja, al estar correlacionado con la viscosidad cinemática, obtuvo un valor de 32,9 mm²/s, en esta investigación se obtuvo un valor de 25,67 mm²/s el resultado en la (Tabla 2). La densidad es una constante que no cambia mucho para un aceite determinado cuando está limpio y fresco, pero depende del tiempo, del enranciamiento y el proceso característico del aceite (Díaz Álvarez & Guerrero Arrelucea, 2018).

Se obtuvo un valor de 9,58 meqO₂/kg de muestra respecto al índice de peróxido en la (Tabla 2), este se refiere a la estabilidad oxidativa del aceite caracterizado; el valor obtenido se encuentra dentro del rango adecuado. Una variación elevada de este parámetro denota un nivel alto de enranciamiento del aceite. Estudios sobre el aceite autores (Díaz Álvarez & Guerrero Arrelucea, 2018) obtuvieron un índice de peróxido para la muestra control alcanzó 8,67meq O₂/ kg. Mide el grado inicial de oxidación del aceite. Esto se debe al enranciamiento de los aceites, generalmente un proceso natural por el cual su composición cambia con el tiempo, lo que provoca un cambio en las propiedades organolépticas, entre otras cosas. La rancidez puede ser causada por hidrólisis u oxidación (Nieves, 2018).

Se registró en la (Tabla 2) una humedad de 0,033%, un porcentaje bajo y con el cual no se tendría problemas de formación de jabón en el proceso de transesterificación. El autor (Castellar Ortega, 2019) manifestó que la presencia de la humedad en el aceite reduce el rendimiento del biodiesel. Los ácidos grasos libres son ácidos mono-carboxílicos saturados o insaturados que están presentes en grasas o aceites pero que no están unidos a la estructura del propanotriol. Más ácidos grasos libres lleva a un mayor índice de acidez. El contenido AGL debe ser inferior al 2 %, ya que los ácidos reaccionan con un catalizador alcalino durante la transesterificación y tienden a formar jabón en lugar de metil-éster.

El índice de saponificación fue de 206,8 mg KOH/g de aceite se observa el resultado en la (Tabla 2), siendo este un valor adecuado para la transesterificación, tal como reportan otros autores, los cuales obtuvieron valores similares provenientes de otros aceites vegetales de hasta 232 mg KOH/g de aceite, lo cual indica que de acuerdo a estos valores durante la reacción de transesterificación favorecería el rendimiento de biodiesel (Polo, Fontalvo, & Mendoza, 2018).

El índice de yodo, se obtuvo un valor de 109,39 g I₂/100 g de aceite se reportó en la (Tabla 2). Lo cual demuestra la capacidad oxidativa de la muestra. El autor (Bulla Pereira, 2014) afirmó que en su investigación del índice de yodo obtuvo un valor de 108 g I₂/ 100g de aceite, lo cual está dentro de la norma EN 41111 estipula que el índice de yodo en aceites debe estar en el rango entre 89-112.

Es así que, para el biodiesel, la densidad obtenida en los tres intervalos de tiempo estuvo dentro de lo que establece la norma EN 14214 rango establecido (860-900); obteniendo una densidad a 15 °C de 899 kg/m³ (30 min), 889 kg/m³ (45 min) y 8983 kg/m³ (60 min) resultados se los observa en la (Tabla 3). Autores como (Díaz Álvarez & Guerrero Arrelucea, 2018) afirman que en su densidad se obtuvo un valor de acuerdo del rango establecido de 865 kg/m³. Al usar hidrómetros de flotación, es importante recordar que la densidad de cualquier líquido varía significativamente a diferentes temperaturas (Valderrama *et al.*, 2020).

Se obtuvo una viscosidad de 3,96 mm²/s (30 min), 3,41 mm²/s (45 min) y 3,18 mm²/s (60 min) encontrándose estos valores dentro del rango estipulado por la norma de 1,9-6,0 (Tabla 3). Autores como (Lomas Mendoza & Morán Guín, 2020) obtuvieron un valor del biodiesel es de 4,63mm²/s, por lo tanto, nos indica que cuando se utiliza en motores de combustión interna, el biodiesel tiene excelentes propiedades lubricantes que ayudan a mantener su potencia y rendimiento en condiciones estables.

El valor de la humedad presente en el biodiesel obtenido fue de 0,044% (30 min), 0,039% (45 min), y 0,029% (60 min), encontrándose dentro del rango de la Norma ASTM 6751, siendo el ultimo valor el más cercano al límite de la norma (Tabla 3). Autores como (Jadán S. *et al.*, 2023) afirmaron que

es considerable medir el contenido de agua para establecer la vida útil del combustible, el menor contenido de humedad presentó un (0,03%). Es beneficioso ya que sobrepasa la humedad dañina para los motores diésel y también perjudica la estabilidad oxidativa del biodiesel (Sánchez, 2021).

Se obtuvo un índice de acidez relativamente bajo, encontrándose dentro de la norma que estipula un 0,80 máx de acuerdo con las Normas ASTM 6751, obteniendo en el biodiesel de aceite de soja 0,35mgKOH/g (30 min), 0,31mgKOH/g (45 min) y 0,26mgKOH/g (60 min) se muestran los resultados en la (Tabla 3). Otros autores como (García-Muentes *et al.*, 2018) en su investigación reportaron que el índice de acidez en el biodiesel fue de 0,40mgKOH/g de biodiesel. Un bajo índice de acidez contribuye a un rendimiento alto del biodiesel, además de aumentar considerablemente la velocidad de degradación del mismo.

Sobre el índice de yodo, se obtuvo un valor de 107,03 gI₂/100g de biodiesel (30 min), 107,14 gI₂/100g de biodiesel (45 min) y 107,38 gI₂/100g de biodiesel (60 min) se muestra los resultados en la (Tabla 3). En todos los casos, se encontraron dentro de las normas europeas EN-14214, que establece que su valor máximo es 120 g I₂/ 100g. El índice de yodo está fuertemente influenciado por la oxidación del combustible y los depósitos en los inyectores diésel. Un valor alto puede significar poca estabilidad. No obstante, el índice de yodo es un factor que se ve afectado por un aumento o disminución de las emisiones de NO_x (Valderrama *et al.*, 2020).

Por su parte, Rodríguez Díaz (2017), precisa que la reacción de transesterificación puede ocurrir a 25 °C y manifiesta que el aumento de la temperatura está en relación directa a la velocidad de la misma, es importante resaltar que la variación de la temperatura no puede exceder a los 65°C, ya que el punto de ebullición del metanol es 64,7°C, también por las reacciones secundarias de estudio de jabones en lo cual se mantienen entre los 25 y 65 °C.

Respecto al rendimiento del biodiesel obtenido, se obtuvo un rendimiento de 67,76% a 30 min, 68,65% a 45 min y 69,01% a 60 min se observa los resultados en la (Tabla 3). Teniendo como referencia esto, se obtuvo el mayor rendimiento a los 60 min. Autores como (Gomez-Delgado *et al.*, 2022) registraron un rendimiento cercano de 72%p/p utilizando como materia prima *Jatropha curcas*. (Bilgin *et al.*, 2015) mencionan que, al aumentar el tiempo de la reacción, la viscosidad cinemática de este combustible tiende a disminuir utilizando un tiempo de 60 minutos. El incremento del rendimiento del biodiesel a medida que incrementa el tiempo de reacción.

CONCLUSIÓN

Luego de haber realizado la caracterización del aceite de soja se determinó que el mismo cumple los requisitos establecidos para la transesterificación según las normas internacionales establecidas para la obtención de este biocombustible.

Se determinó que el mejor tiempo de reacción fue 60 minutos, a una temperatura a 60°C y obteniéndose un mayor rendimiento el cual fue de 69,01%.

La obtención de biodiesel a partir del aceite vegetal mediante el proceso de transesterificación cumple con los parámetros estándares establecidos de las normas ASTM 6751; con un índice de acidez relativamente bajo 0,35 mgKOH/g de biodiesel (30min), 0,31 mgKOH/g de biodiesel (45min) y 0,26 mgKOH/g de biodiesel (60min), una viscosidad de 3,96 mm²/s (30min), 3,41 mm²/s (45min) y 3,18 mm²/s (60min) que permitirá que el biodiesel fluya fácilmente, con una densidad a 887 kg/m³ (30min), 886 kg/m³ (45min) y 875 kg/m³ (60min), humedad 0,44% (30min), 0,039% (45min) y 0,029% (60min) que se encuentran dentro de lo establecido para que este pueda ser utilizado en motores de combustión interna.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aghbashlo, M., Peng, W., Tabatabaei, M., Kalogirou, S. A., Soltanian, S., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., ... & Lam, S. S. (2021). Machine learning technology in biodiesel research: A review. *Progress in Energy and Combustion Science*, 85, 100904.
- Alvarez, J. A. (2013). Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del Refugio. *Trabajo de Grado*. Universidad Tecnológica de Tijuana, México.
- Arriola Gómez, G., & Monjaras Blanco, M. H. (2003). Comprobación de pureza de los aceites comestibles de diferentes marcas comerciales en el área metropolitana.
- Ayala Ramírez, M. J. (2011). Evaluación de la calidad del aceite de mezclas vegetales utilizado en doce frituras sucesivas empleado para freír plátano hartón verde.
- Bilgin, A., Gülüm, M., Koyuncuoglu, İ., Nac, E., & Cakmak, A. (2015). Determination of transesterification reaction parameters giving the lowest viscosity waste cooking oil biodiesel. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 195, 2492-2500.
- Bulla Pereira, E. A. (2014). *Diseño del proceso de producción del biodiesel a partir de aceites de fritura* (Doctoral dissertation).
- Cardaño, F., Rios, L. A., Cardona, J. F., & Ocampo, D. (2013). Síntesis de Resinas Alquídicas a partir de Aceites de Higuera, de Palma y de Fritura, Mezclados con Aceite de Soja. *Información tecnológica*, 24(4), 33-42.
- Castellar Ortega, GC, Angulo Mercado, ER y Cardozo Arrieta, BM (2014). Transesterificación de aceites vegetales empleando catalizadores heterogéneos. *Prospectiva*, 12 (2), 90-104.
- Castillo Fernández, K. (2018). Caracterización teórica de parámetros del biodiesel y estudio de algunas de sus emisiones.
- CASTILLO ORTEGA, J. A. (2019). OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE VEGETAL USADO: Proyecto de grado "Investigación Aplicada". *Repositorio UAJMS*.
- Díaz Álvarez, MC, & Guerrero Arrelucea, SM (2018). Influencia del índice de acidez en el poder calorífico del biodiesel, obtenido a partir de aceites reciclados de cocina.
- García-Muentes, S. A., Lafargue-Pérez, F., Labrada-Vázquez, B., Díaz-Velázquez, M., & Sánchez del Campo-Lafita, A. E. (2018). Propiedades fisicoquímicas del aceite y biodiesel producidos de la *Jatropha curcas* L. en la provincia de Manabí, Ecuador. *Revista Cubana de Química*, 30(1), 142-158.
- García-Muentes, S. A., Sánchez del Campo-Lafita, A. E., Labrada-Vázquez, B., Lafargue-Pérez, F., & Díaz-Velázquez, M. (2018). Cinética de la reacción de transesterificación para la producción de biodiesel a partir del aceite de *Jatropha curcas* L., en la provincia de Manabí, Ecuador. *Tecnología Química*, 38(2), 281-297.
- Gómez-Delgado, E. E., Nabarlantz, D., & Avellaneda-Vargas, F. A. (2022). Obtención de biodiesel por transesterificación in situ a partir de semillas de *Jatropha curcas* L. *Revista UIS ingenierías*, 21(2), 21-37.
- Islam, M. A., Hasanuzzaman, M., Rahim, N. A., Nahar, A., & Hosenuzzaman, M. (2014). Global renewable energy-based electricity generation and smart grid system for energy security. *The Scientific World Journal*, 2014.
- Jadán, M. J., Morejón, M. C., García, S., Burgos, G., & García, G. (2023). Obtención de biodiesel a partir de la transesterificación de aceite vegetal residual. *infoANALÍTICA*, 11(1), 31-51.
- Llanes, A., Rocha, J., Salazar, P. & Medrano, J. (2017). "Producción e Impacto del Biodiesel: Una

Revisión. INNOVA, Vol. 2, No.7 pp. 59-76.

- Lomas Mendoza, W. M., & Morán Guín, V. J. (2020). *Aprovechamiento de aceites vegetales desechados de la Avenida José Roura para obtener biodiesel empleando técnicas de esterificación y transesterificación* (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química).
- Mott, R. L. (1996). *Mecánica de fluidos aplicada*. Pearson Educación.
- Nascimento, F. P., Oliveira, A. R., Paredes, M. L., Costa, A. L., & Pessoa, F. L. (2013). Biodiesel production from supercritical ethanolysis of soybean oil. *CHEMICAL ENGINEERING*, 32.
- Navas, M., Ruggera, J., & Casella, M. (2015). Transesterificación de aceites vegetales con metanol mediante catálisis heterogénea. *Investigación Joven*, 2(2).
- Nieves, T. R. (2018). Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de aceites y grasas residuales potenciales para la producción de biocombustibles. *CENTRO*.
- Palomino, L. N. Z., & Carrión, J. P. A. S. (2016). Obtención de Biodiesel por transesterificación Alcalina a partir de Aceites Vegetales Residual en Lima. *TECNIA*, 26(1), 107-114.
- Perera, F. (2018). Pollution from fossil-fuel combustion is the leading environmental threat to global pediatric health and equity: Solutions exist. *International journal of environmental research and public health*, 15(1), 16.
- Polo Rodriguez, L., Fontalvo Gómez, M., & Mendoza Meza, D. L. (2018). Producción de biodiesel mediante transesterificación enzimática de aceite extraído de residuos de la industria de alimentos. *Prospectiva*, 16(1), 26-33.
- Rodríguez Díaz, A. L. (2017). Determinación preliminar de los parámetros fundamentales de operación para el reactor BIO100 en la EEPF “Indio Hatuey.
- Sánchez, E. M. (2021). Obtención de Biodiesel a Partir de Aceites Vegetales Empleando Catalizadores Sólidos Nanoestructurados. (Tesis doctoral, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Córdoba).
- Souza, S. P., Seabra, J. E., & Nogueira, L. A. H. (2018). Feedstocks for biodiesel production: Brazilian and global perspectives. *Biofuels*, 9(4), 455-478.
- Torossi Baudino, F. D. T. (2006). Reacciones en contexto: la transesterificación en la producción de biodiesel a partir de aceite de fritura usado. *Anales de Química de la RSEQ*, (3), 43-49.
- Valderrama, M. M. P., Muñoz, M. D., Torres, M. A. P., Monsalve, N. J. F., & Aponte, D. A. A. (2020). Propiedades fisicoquímicas del aceite y del biodiésel producidos de la Cocos Nucifera en el municipio de Barranacbermeja: Aprovechamiento del aceite de coco. *CITECSA*, 12(20), 73-82.
- Zou, C., Zhao, Q., Zhang, G., & Xiong, B. (2016). Energy revolution: From a fossil energy era to a new energy era. *Natural Gas Industry B*, 3(1), 1-11.

CONFLICTOS DE INTERESES

Los autores no refieren conflictos de intereses