

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v5i10.0062>

EPOXIDACIÓN DE BIODIESEL OBTENIDO A PARTIR DEL ACEITE DE LA SEMILLA *JATROPHA CURCAS L*, DE LA PROVINCIA DE MANABÍ – ECUADOR

EPOXIDATION OF BIODIESEL OBTAINED FROM *JATROPHA CURCAS L* SEED OIL, FROM THE PROVINCE OF MANABÍ - ECUADOR

López-Zambrano Lisbeth^{1*}; Zambrano-Moreira Genessis¹; García-Muentes Segundo¹; Burgos-
Briones Gabriel¹; García-Vinces Gonzalo¹

¹Carrera de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas,
Universidad Técnica de Manabí, UTM. Portoviejo, Ecuador.

*Correo: llopez9229@utm.edu.ec

Resumen

La presente investigación se centró en elaborar grasa lubricante a partir de la epoxidación del biodiesel obtenido de la planta *Jatropha Curcas L*. Como materia prima se utilizó aceite previamente producido de las semillas de piñón; consiguientemente, se realizaron experimentos consecutivos de esterificación, transesterificación y epoxidación a los esteres metílicos grasos del aceite vegetal. En cuanto a la caracterización, se realizaron pruebas por triplicado siguiendo normas estandarizadas ASTM. Además, se analizaron las propiedades físico-químicas de los productos obtenidos como aceite, biodiesel y lubricante. El rendimiento global del proceso fue 71.57 %. Respecto a los parámetros de calidad, se evidenciaron valores idóneos para el aceite como índice de yodo, viscosidad, humedad, entre otras propiedades que cumplieron con la normativa. Posteriormente al proceso de transesterificación, se realizaron pruebas físico-químicas al biodiesel cumpliendo con las normativas requeridas según la especificación ASTM 6751. No obstante, la humedad del biodiesel, 0.052%, resultó ligeramente mayor a la normativa; se estima que por condiciones del lavado. La acidez también resultó muy cercana al máximo permitido por la norma; por lo que se infiere que existieron restos de H_2SO_4 en el proceso. Por su parte, para la categorización del producto epoxidado se utilizaron los grados API y las normas ISO. La densidad final del lubricante, 947.064 Kg/m³, permitió clasificarlo como lubricante de tipo pesado de acuerdo a la relación con la gravedad API. Seguidamente, la viscosidad cinemática medida a 40°C de 63.381 mm²/s permitió categorizarlo como ISO VG 68, que es conocido comercialmente como lubricante hidráulico de desgaste.

Palabras clave: Aceite de piñón, biodiesel, epoxidación, grasa lubricante.

Abstract

This research focused on making lubricating grease from the epoxidation of biodiesel obtained from the *Jatropha Curcas L* plant. Oil previously produced from pine nut seeds was used as raw material; Consequently, consecutive esterification, transesterification and epoxidation experiments were carried out on the fatty methyl esters of the vegetable oil. Regarding the characterization, tests were carried out in triplicate following standardized ASTM norms. In addition, the physicochemical properties of the products obtained as oil, biodiesel and lubricant were analyzed. The overall yield of the process was 71.57%. Regarding the quality parameters, ideal values were found for the oil such as iodine, viscosity, humidity, among other properties that complied with the regulations. After the transesterification process, physicochemical tests were carried out on the biodiesel, complying with the regulations required according to the ASTM 6751 specification. However, the humidity of the biodiesel 0.052% was slightly higher than the regulations; it is estimated that due to washing conditions. The acidity was also very close to the maximum allowed by the norm; so it is inferred that there were H_2SO_4 remains in the process. For its part, for the categorization of the epoxidized product, API grades and ISO standards were used for the classification of the lubricant. The final density of the lubricant 947.064

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 04 de octubre de 2021.

Fecha de aceptación: 05 de noviembre de 2021.

Fecha de publicación: 11 de julio de 2022.

Kg/m³ allowed it to be classified as a heavy type lubricant according to the relationship with API gravity. Subsequently, the kinematic viscosity measured at 40 °C of 63,381 mm²/s allowed it to be categorized as ISO VG 68, which is commercially known as a hydraulic wear lubricant.

Keywords: Pinion oil, biodiesel, epoxidation, lubricating grease.

1. Introducción

La reducción de las riquezas naturales, el calentamiento global y una mayor conciencia al medio ambiente han provocado que los recursos renovables empiecen a considerarse como alternativas potenciales a los derivados del petróleo (Stefănescu et al., 2002; Arroyo et al., 2015; Cabrera et al., 2021). Por consiguiente, diversos países del mundo están implementando el uso de productos y subproductos que provengan de energías renovables; esto con el propósito de reducir el impacto ambiental que representa (Tinia et al., 2009).

En Ecuador, la mayor parte de aceites lubricantes que se oferta consisten de una mezcla de materiales de base lubricante y aditivos que se elaboran a partir de petróleo en las refinerías (EPA, 2015). Sus aplicaciones más habituales son los automotores y la industria en general. De acuerdo con la Asociación de Productores

Ecuatorianos de Lubricantes (APEL), se afirma que el consumo de grasas lubricantes para motores de gasolina y biodiesel se ha incrementado en un 12% en los últimos años (Alvarado, 2019). Según información analizada, no existen bases en Ecuador sobre la elaboración de aceites lubricantes; ya que en su mayoría se importan a granel; las estadísticas del Banco Central del Ecuador afirman que entre septiembre de 2017 y septiembre de 2018 se realizaron importaciones de 4.020.000 Toneladas métricas de lubricantes, predestinada para distintas áreas y correspondientes a 333.0 millones de dólares (BCE, 2018).

Con el notable aumento de la demanda de lubricantes y el cuidado necesario a la naturaleza, los investigadores han optado por direccionar la mirada hacia los aceites de origen vegetal. La conversión de los aceites vegetales para producir esteres metílicos de ácidos grasos ha surgido como una

opción sostenida para remplazar a los derivados del petróleo. En efecto, se debe a su estructura química, las cuales son posibles de epoxidar sus moléculas y usarlas directamente para la elaboración de aceites o grasas lubricantes y plastificantes.

Por su parte, se ha diversificado las bondades de la planta *Jatropha curcas* o comúnmente conocida como planta de piñón como cultivo agro energético del futuro por sus características de adaptación terrenal a diversos climas (Tinía et al., 2009). Por consiguiente, se han desarrollado estudios con variantes en los métodos de obtención del lubricante; así como la utilización catalizadores y reactivos para la epoxidación de los esteres metílicos grasos (FAME) del aceite, con el fin de obtener mejores rendimientos y la optimización de recursos según lo reportado por Pérez et al. (2018) y Rodríguez et al. (2019).

Por lo tanto, la finalidad de esta investigación es obtener grasa con

características de lubricante mediante la epoxidación del biodiesel obtenido a partir de la planta de piñón y a su vez realizar la caracterización química de los productos y subproductos del proceso.

2. Metodología

2.1. Descripción experimental

La presente investigación conduce a un trabajo metodológico experimental que corresponde a la obtención, caracterización y comparación del aceite lubricante mediante normas estandarizadas americanas ASTM. Como materia prima se utilizó aceite previamente obtenido de la semilla de la planta *Jatropha curcas L* en la ciudad de Portoviejo, Manabí, Ecuador. Las etapas experimentales se dividieron en: esterificación, transesterificación y epoxidación. El flujograma experimental está indicado en la figura 1.

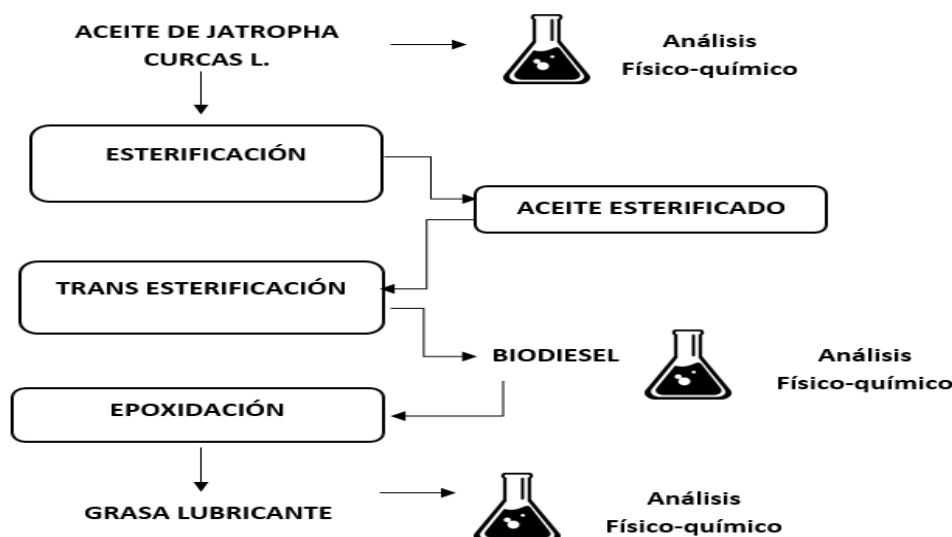


Figura 1. Flujograma experimental para la elaboración y caracterización de la grasa lubricante.

2.1.1. Esterificación

Consiste en disminuir cierta cantidad porcentual de ácidos grasos libres del aceite (Kamel, 2018). En este sentido, se siguió la experimentación descrita por Berchmans & Hirata (2008), que consiste en mezclar en un vaso de precipitado 45.8 de metanol junto con 2.5 de ácido sulfúrico por un minuto. Posteriormente, se añadió la mezcla etanol-ácido a 100 gramos de aceite de piñón en un balón de destilación con calentamiento de 60 °C. Se mantuvo agitación constante a 240 revoluciones por minuto (rpm) durante 60 minutos hasta conseguir

una coloración naranja. Finalmente, mediante un embudo de decantación y en un lapso de cinco minutos, se separó la fase ligera perteneciente al aceite esterificado y la fase pesada al metanol en exceso.

2.1.2. Transesterificación

Es un proceso previo antes de la conversión de aceites vegetales en sus correspondientes ésteres epoxidados. El proceso radica en hacer reaccionar un triglicérido con un alcohol para producir tres moléculas de ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) más glicerol (Fukada & Kond, 2001). La reacción se indica figura 2.

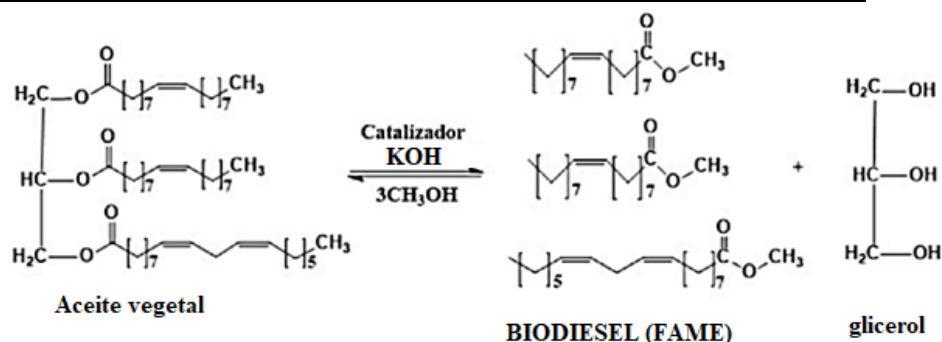


Figura 2. Esquema de reacción general del proceso de transesterificación de aceites vegetales para la obtención de biodiesel.

Para la obtención del biodiesel, se siguió la técnica descrita por (Sánchez & Huertas, 2012), tomando en cuenta la cantidad de catalizador, agitación, tiempo y temperatura. Para ello, se mezclaron 45 ml de metanol con 1,7 g de hidróxido de potasio como catalizador y se agregó 100 ml de aceite de piñón con agitación constantemente durante 1 hora. Finalmente, se dejó reposar la mezcla durante 24 horas para lograr la división de las dos fases: biodiesel y glicerol.

2.1.3. Epoxidación

Según la literatura, la epoxidación se refiere a un método de funcionalización del aceite vegetal o su correspondiente éster metílico (FAME) mediante la introducción de un átomo de oxígeno en el grupo insaturado de la cadena de ácidos grasos (McNutt & He, 2016). Químicamente, la reacción corresponde a la formación de un grupo oxirano (éter cíclico), mediante la adición de un átomo de oxígeno a un doble enlace olefínico como se muestra en la figura 3.

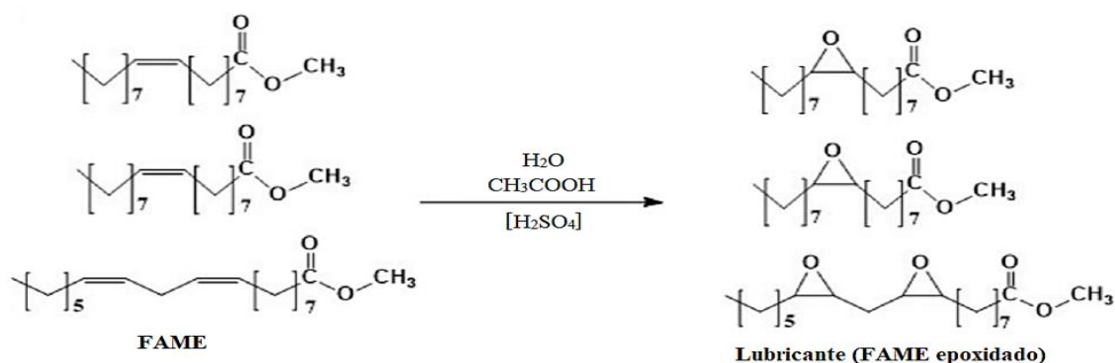


Figura 3. Esquema de reacción general del proceso de transesterificación de aceites vegetales para la obtención de biodiesel.

En cuanto a la experimentación, se siguió la técnica descrita por (Gerbase et al., 2002). En un vaso de precipitados se mezclaron 100 gramos de éster metílico con 33 ml de ácido fórmico. Posteriormente, se añadieron 1.7 ml de ácido sulfúrico hasta que el contenido de la mezcla alcanzó un viraje de color de amarillo a negro. Seguidamente, se adicionaron 123 ml de agua oxigenada al 30% por goteo en un embudo separador, en un tiempo de 45 minutos. El color negro fue desapareciendo hasta llegar a un amarillo parecido al del aceite inicial. Finalmente, se dejó calentar hasta una temperatura de 75 °C dejando reaccionar la mezcla durante 4.5 horas produciéndose una reacción exotérmica; el color amarillo desapareció paulatinamente hasta obtener un producto de color blanco.

Para neutralizar la mezcla hasta un pH 5 se añadieron 6.6 ml de una

disolución de NaOH manteniendo las condiciones de agitación y temperatura. Seguidamente, se vertió la mezcla en un embudo separador, y se dejó reposar la mezcla hasta la separación de las fases y decantar la fracción acuosa. Por último, se lavó la fase oleosa con bicarbonato sódico NaHCO_3 (7 g/100 ml de agua destilada) hasta que no se observó desprendimiento de gas.

2.2. Control de calidad

Se realizó en base a las normativas ASTM que son las más usuales y aceptadas. Las bases lubricantes deben cumplir con ciertos requerimientos y propiedades para fabricar aceites terminados. Por consiguiente, se determinaron las propiedades físico-químicas del aceite, biodiesel y lubricante según las normas declaradas en la tabla 1.

Tabla 1.
Métodos de prueba estandarizados.

Propiedades	Método de prueba	Exactitud
Índice de yodo	EN 41111	±0.1
Viscosidad cinemática a 40°C	ASTM D 445-09	±0.01
Índice de viscosidad	ASTM D 2270	±0.1
Densidad a 15°C	ASTM D 1298-99	±0.1
Índice de acidez	ASTM D6751	±0.0001
Índice de saponificación	ASTM D5558	±0.1
Humedad	ASTM D6751	±0.1
Punto de inflamación	INEN 1493	±0.1

Las propiedades físico-químicas se determinaron mediante pruebas de laboratorio a partir de metodologías establecidas. A continuación, se detallan las especificaciones y las experimentaciones en base a las normas expuestas en la tabla 1 para realizar el respectivo control de calidad del aceite, biodiesel y el biodiesel epoxidado (lubricante).

2.2.1. Índice de yodo

Para la práctica se colocaron aproximadamente 0.075 gramos de aceite en un Erlenmeyer. Seguidamente, se añadieron 10 ml de cloroformo para disolver la grasa y se agregaron 7.5 ml del reactivo de Wijs, se tapó y se agitó el contenido colocándolo en la oscuridad. Posteriormente, se mantuvo la mezcla en ausencia de luz durante 1 hora, para evitar la fotodegradación. Seguidamente, se agregaron 10 ml de una disolución de yoduro de potasio y 25 ml de agua. Finalmente, se realizó una valoración con la disolución de tiosulfato de sodio hasta observar una desaparición total del color amarillo producido por el yodo y obtener un color amarillo tenue. Por último, se añadió una pizca de almidón y se prosiguió hasta el momento exacto del viraje

de color. La fórmula utilizada fue la siguiente:

$$IY = \frac{(V1-V2)*C*12,69}{m} \text{ (Ec. 1)}$$

Donde:

IY: índice de yodo (g de I₂/g de grasa).

V₁: volumen de tiosulfato de sodio consumido por el ensayo en blanco (ml).

V₂: volumen de tiosulfato de sodio consumido por la muestra problema (ml).

C: concentración promedio de la solución de tiosulfato de sodio (mol/l).

m: masa de la muestra (g).

2.2.2. Viscosidad

Se utilizó el viscosímetro de Oswald para medir la viscosidad de las muestras a 40 °C y 100 °C, respectivamente. Por teoría, se conoce que su funcionamiento se basa en la medición del tiempo en el que el fluido recorre una distancia entre un espacio determinado. Este parámetro resulta muy importante al momento de realizar el control de calidad; esto se debe a que si la viscosidad esta fuera de rango

tiende a causar problemas si se aplica directamente en motores.

2.2.3. Densidad

Para medir la densidad de las sustancias se utilizó un picnómetro de 25 ml. Este método de análisis utiliza la norma ASTM D-854. De hecho, es bien conocido que la densidad del aceite cambia con la temperatura, reduciéndola cuando ésta se incrementa. Por otra parte, para los aceites minerales a condiciones normales de presión y temperatura, la densidad fluctúa entre 82 Kg/m³ a 96 Kg/m³.

2.2.4. pH

Es importante mantener un pH regulado para neutralizar la mezcla en la epoxidación de los esteres metílicos. Para la determinación exacta del pH se utiliza un electrodo para medir directamente la fuerza de los ácidos disueltos en un lubricante según lo establecido la normativa ASTM D7946. Por consiguiente, se realizaron pruebas con un pH-metro y se corroboraron los resultados directamente con tirillas de papel tornasol.

2.2.5. Punto de inflamabilidad

Es la temperatura exacta a la que el fluido empieza a combustionar cuando entra en contacto con el fuego. En cuanto a la seguridad y manipulación, es un parámetro conveniente a conocer para el manejo y almacenamiento del producto (Bruneta, 2015). Para la experimentación, se siguió el método de la copa cerrada Pensky Martens que según la norma técnica ecuatoriana INEN 1493 se realiza en una copa de bronce, se calienta y se cubre con una tapa debidamente ajustada del tamaño específico. Posteriormente, la fuente de ignición se coloca en la copa de prueba a intervalos de tiempos con interrupción simultánea de agitación, hasta que se detecte el punto de inflamación.

2.2.6. Índice de acidez

Se siguió la técnica de valoración o titulación descrita por García-Muentes et al. (2018) que consistió en utilizar 2 gramos de biodiesel a 10 mL de alcohol etílico en un matraz Erlenmeyer; seguidamente, se añadieron 3 gotas de fenolftaleína. Se agitó constantemente hasta homogenizar la mezcla, y mediante valoración se añadió KOH 0,1 N gota

a gota, hasta obtener un color rosado que permaneció por 30 segundos. Este parámetro está expresado en miligramos de KOH necesarios para neutralizar 1 g de biodiesel. Para los cálculos respectivos, se utilizó la ecuación 2.

$$\%Ac = \frac{c * N * mEq}{m} \times 100 \text{ (Ec. 2)}$$

Donde:

%Ac: porcentaje de acidez.

c: consumo de KOH.

N: normalidad de KOH.

mEq: mili-equivalente químico del aceite.

m: masa del aceite.

2.2.7. Índice de saponificación

En un matraz de 250 ml se pesaron 2 gramos de aceite. Se agregaron 40 ml de NaOH y se calentó hasta 60 °C. Se Agitó a 240 rpm por una hora hasta que saponifique. Se preparó un ensayo en blanco similar en todos los aspectos, pero sin la muestra problema. Una vez saponificada la muestra se agregaron 4 gotas de indicador fenolftaleína. La fórmula del cálculo está dada por la ecuación 3.

$$IS = \frac{(B-M) * N}{P} * Eq NaOH \text{ (Ec. 3)}$$

Donde:

IS: índice de saponificación.

B: volumen de HCl consumido por el ensayo en blanco.

M: volumen de HCl consumido por la muestra problema.

N: normalidad de la solución de HCl.

P: peso de la muestra.

Eq NaOH: 40.

2.2.8. Determinación de humedad

Se procedió a lavar los crisoles y se llevaron a la estufa por 90 minutos a una temperatura de 100°C. Una vez desecados, se pesaron los crisoles en la balanza y se añadió la muestra. Posteriormente, se volvió a pesar con la muestra y se lo llevó a la estufa por 2 horas. Finalmente, se sacó el crisol con la muestra de la estufa y se los colocó en el desecador por 30 minutos. Por último, se repitió el pesado de los crisoles y se tomaron los datos respectivos.

La fórmula utilizada para calcular la humedad se muestra en la ecuación 4.

$$\% H = \frac{B-C}{A} * 100 \text{ (Ec. 4)}$$

Donde:

%H: porcentaje de humedad.

A: peso muestra húmeda.

B: peso crisol + peso muestra húmeda.

C: peso crisol + peso muestra seca.

3. Resultados y discusión

A continuación, se muestra el análisis físico-químico reportado para el aceite, según referencias o especificaciones (tabla 2).

Tabla 2.
Análisis físico-químico del aceite crudo.

Propiedad	Unidades	Valor experimental	Referencia	Norma
Densidad a 15 °C	Kg/m ³	910.264	840-960	ASTM 1298
Viscosidad cinemática a 40 °C	mm ² /s	39.452	33.89	ASTM 445-09
Viscosidad cinemática a 100 °C	mm ² /s	8.321	-	ASTM 445-09
Humedad	%	0.023	0.02-0.05	ASTM D-1533
Índice de yodo	mg I ₂ /100g	91.72	89-112	EN 41111
Índice de saponificación	mg KOH/g de grasa	185.324	102.9-209.0	ASTM D-5558
Índice de acidez	mg KOH/g aceite	0.0941		ASTM D-664

Según la caracterización, se reportó una densidad 910.264 Kg/m³ que entra en el rango de referencia del método de prueba ASTM 1298 para aceite crudo que puede ser usado para distintos propósitos. No obstante, este valor es característico de los aceites vegetales, cuya medida puede alcanzar los 940 Kg/m³ para el aceite de piñón.

El índice de acidez reportado fue de 0.0941 mg KOH/g aceite, lo que indicó una acidez óptima para las etapas subsecuentes del proceso. Para ser utilizado como aceite base, los aceites vegetales deben tener un índice de acidez menor que 2 mg de KOH/g de grasa ya que a partir de este valor el lubricante comienza a corroer la superficie metálica (Vásquez, 2015).

La determinación de la viscosidad cinemática conduce hacia una estimación del grado del espesor de película que el aceite puede proporcionar. Para esto, se realizaron experimentaciones a 40 y 100 °C. Como es normal, se puede notar la reducción de la viscosidad al incrementar la temperatura de 40 °C a 100 °C dando lugar a que las fuerzas viscosas del aceite sean superadas por la energía cinética.

En cuanto a la humedad presente en el aceite resultó de 0.023 %, lo que favoreció al proceso de transesterificación del triglicérido. Según lo descrito por (Riveros et al., 2006) es muy probable que con condiciones de humedad bajas se reduzcan las posibilidades de

saponificación; esto fue corroborado mediante el índice de saponificación lo que indicó una alta pureza del aceite vegetal.

Por su parte, el índice de yodo representa el grado de insaturación presente en los ácidos grasos que componen el aceite, por lo que es una forma de comprender el número de dobles enlaces epoxidados durante la reacción. Al observar el resultado, se identificó un valor de 91.72 mg I₂/100g de aceite que resulta un valor afín al rango descrito por Achten et al. (2008).

En la tabla 3 se indica el reporte de los análisis físico-químicos obtenidos para el biodiesel, tomando la normativa de calidad referente ASTM 6751.

Tabla 3.
Análisis físico-químico del biodiesel.

Propiedad	Unidades	Valor experimental	Referencia ASTM 6751
Densidad a 15 °C	Kg/m ³	910.264	870-890
Viscosidad cinemática a 40 °C	mm ² /s	4.803	1.9-6.0
Viscosidad cinemática a 100 °C	mm ² /s	1.821	-
Humedad	%	0.052	0.02-0.05
Índice de acidez	mg KOH/g	0.772	Maximo 0.8
Punto de inflamación	°C	140	130 minima

Para la densidad a 15 °C se observó un valor de 876.023 kg/m³ que está dentro de la norma establecida según los estándares de calidad del biodiesel; incluso se han reportado valores afines en trabajos realizados por (Silitonga et al., 2013; García-Muentes et al., 2018).

La viscosidad cinemática medida a 40 °C (4.803 mm²/s) resultó ser ligeramente mayor a la cantidad media del intervalo aceptado por la norma. Es muy importante que este valor no sobrepase la norma establecida; ya que según lo difundido por (Islam et al., 2013; García-Muentes et al., 2018) el crecimiento significativo de esta propiedad aumenta las dificultades en la circulación del combustible en motores. Para el análisis de viscosidad cinemática a 100 °C se notó una disminución de viscosidad a 1.821 mm²/s; sustentándose en la literatura, que a mayor temperatura menor es la viscosidad de un líquido.

Por su parte, la humedad del biodiesel está limitada a 500 ppm o 0.05 % volumen según las normas ASTM D6751 ya que alta humedad conlleva a la aparición de ácidos grasos a través de ésteres y/o ruptura hidrolítica de enlaces dobles

en ésteres insaturados (Knothe, 2010). No obstante, como se observa en la tabla 3 mediante la transesterificación se obtuvo un porcentaje de humedad del biodiesel de 0.052 muy cercano a la normativa.

La acidez es una señal de calidad de la reacción de transesterificación; según la teoría, cuanto más baja resulte la acidez del biodiesel, más eficiente habrá sido la reacción de transesterificación (García-Muentes et al., 2018). En esta investigación se reportó un valor de 0.772 mg KOH/g; muy cercano al límite; sin embargo, cumple con la normativa requerida y referenciando valores similares en otros trabajos (Bobade et al., 2013; Okullo & Noah, 2017).

Por su parte, se determinó un índice de yodo experimental de 90.16 120 g I₂/100 g, lo que sugiere una cantidad aceptable ya que el límite máximo del índice de Iodo es 120 g I₂/100 g según las normas de biodiesel referenciadas por Ong et al. (2011) y Silitonga et al. (2011).

En cuanto al punto de inflamación, según la normativa ASTM D6751 el punto de inflamabilidad del biodiesel tiene un valor no menor a 120 °C. Este análisis reportó un valor de 130

°C lo que resulta en cierto aspecto beneficioso; según la literatura, un valor excedente a la normativa denotaría la ausencia de residuos de metanol utilizado en la transesterificación y por consiguiente no existirán problemas para la evaporación (Bruneta, 2015). En cuanto a los inconvenientes que tendría este valor de 140 °C, se

podrían originar depósitos de carbón y aumentar las cenizas en la cámara de combustión en caso de utilizarse directamente en motores.

A continuación, se indican los resultados del análisis de calidad obtenidos para la grasa lubricante obtenida después de la epoxidación del biodiesel (tabla 4).

Tabla 4.
Análisis físico-químico del lubricante.

Propiedad	Unidades	Valor experimental	Referencia	Especificación
Densidad a 15 °C	Kg/m ³	947.064	920-1000	ASTM 1298
Viscosidad cinemática a 40 °C	mm ² /s	63.381	61.2-74.8	ISO
Viscosidad cinemática a 100°C	mm ² /s	16.207	2-1650	
Viscosidad dinámica a 40 °C	Pa.s	0.059	-	ASTM D445
Viscosidad dinámica a 100 °C	Pa.s	0.0163	-	
Humedad	%	0.017	0.02-0.05	ASTM D6304
Índice de yodo	mg I ₂ /100g	59.406	89-112	EN 41111
Rendimiento global	%	71.230	-	-

En cuanto a los resultados reportados en la Tabla 4, se apreció un aumento significativo de la densidad a 947.064 Kg/m³ tras realizar la epoxidación del biodiesel para obtener el lubricante; según la teoría, este crecimiento se debe al aumento de la masa molar y por

adición del oxígeno en el aceite epoxidado (Salgueiro, 2014). Por otro lado, el valor medido de la densidad se ajusta en el rango de gravedad API para lubricantes pesados.

Los lubricantes generalmente están clasificados en grados ISO según su

viscosidad cinemática. Esta clasificación tiene 18 grados distintos, encontrándose valores desde 2 a 1650 mm²/s con límite superior e inferior. Por su parte, según la viscosidad cinemática medida a 40 °C (63.381 mm²/s) el lubricante obtenido se clasifica como ISO VG 68 siendo su límite inferior 61.2 mm²/s y el superior 74.8 mm²/s. Seguidamente, la viscosidad cinemática a 100 °C del biodiesel epoxidado (lubricante) aumentó 8.9 veces al valor inicial que tenía el biodiesel por el incremento de la masa molar del compuesto.

El porcentaje acuoso disminuyó considerablemente a 0.017 %, lo que indicó valores muy afines a la norma establecida; recordando que la presencia de agua es un factor fundamental a controlar en el proceso de elaboración del aceite lubricante por su actividad corrosiva en ciertas partes del motor.

Para el índice de yodo, se reportó un valor de 59.40 mg I₂/100 g, lo que indicó que al ocurrir la reacción de epoxidación el 35.24 % de los dobles enlaces fueron separados de los restos de ácidos grasos en el tiempo de reacción.

4. Conclusión

Mediante la caracterización del aceite se encontró que las propiedades fisicoquímicas se encuentran dentro de los rangos teóricos establecidos, lo que permitió establecer que se trata de un aceite que presenta buenas condiciones para realizar la reacción de transesterificación y epoxidación.

El análisis físico-químico realizado al producto transesterificado (biodiesel) permitió establecer la continuidad del proceso, hasta llegar a la epoxidación de sus esteres metílicos. A su vez se conoció que el biodiesel obtenido cumple con las normativas requeridas tomando en cuenta la acidez máxima permitida según la normativa que indicaría presencia o restos de H₂SO₄ en el proceso. El análisis de humedad mostró estar ligeramente fuera de especificación por el lavado, originando restos removibles en procesos futuros.

Se obtuvo un rendimiento medio del 71.23 % para la obtención del lubricante. Se categorizó el tipo de lubricante obtenido en este trabajo. Esto se comprobó mediante la determinación y análisis de las propiedades físico-químicas, que

permitieron clasificar el tipo de lubricante y categorizarlo según las normas ISO para lubricantes.

Agradecimientos

Los autores de la presente investigación agradecen al vicedecano de la escuela de Ing. Química de la Universidad Técnica de Manabí, Ing. Carlos Moreira Mendoza, por su colaboración y asesoría.

Bibliografía

Alvarado, P (2019). Revista Líderes. Available:

<https://www.revistalideres.ec/ideres/negocio-lubricantes-autos-filtrocorp-empresa.html>

Arroyo Fabars, J. M., Velázquez, M., & Lafargue Pérez, F. (2015). Formulación de grasas lubricantes utilizando como medio dispersante aceite de *Jatropha curcas*. *Tecnología Química*, 35(1), 73-80.

Banco Central Del Ecuador. (2018). Evolución de la Balanza Comercial Enero – Septiembre / 2018. Subgerencia de Programación y Regulación Dirección Nacional de Síntesis Macroeconómica. <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/SectorExterno/BalanzaPagos/balanzaComercial/ebc201811.pdf>

Bobade, S., Kumbhar, R., & Khyade, V. Preparation of methyl ester (Biodiesel) from *Jatropha curcas* Linn oil". *Research Journal of Agriculture and Forestry Sciences*. 2013, 1 (2), 12-19. ISSN: 2320-6063.

Bruneta, R. (2015). Reducing the cost, environmental impact and energy consumption of biofuel processes through heat integration. *Chemical Engineering Research and Design*. 93, 203–212.

Bruneta, R. et al. (2015). Reducing the cost, environmental impact and energy consumption of biofuel processes through heat integration. *Chemical Engineering Research and Design*, 93, 203–212.

Cabrera-Blanco, O., Patiño-Altafuya, D. G., Alcorta-Cuello, D. R., & Cuello-Pérez, M. (2021). Obtención de bio-grasa lubricante para motores a partir de subproductos de la palma africana. *Tecnología Química*, 41(2), 463-479.

E.P.A. (2015). U.S. Environmental Protection Agency. Office of Solid Waste and Emergency Response. Publication Number 530R15001 [En línea].

Franco-Pérez, J., Díaz-Velázquez, M., Lafargue-Pérez, F., & Santos-Mora, Y. (2018). Epoxidación del aceite vegetal de *Jatropha curcas* L.

- p>con ácido peracético.
- Tecnología Química*
- , 38(2), 380-385.
- Fukada, H. & Kond, A. (2001). Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 92(5), 405-416.
[https://doi.org/10.1016/S1389-1723\(01\)80288-7](https://doi.org/10.1016/S1389-1723(01)80288-7)
- 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.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212018000100012&lng=es&tlng=es
- Gerbase, A. E., Gregório, J. R., Martinelli, M., Brasil, M. C. & Mendes, A. N. F. (2002). Epoxidation of soybean oil by the methyltrioxorhenium-CH₂Cl₂/H₂O₂ catalytic biphasic system. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 79, 179-181.
- ISLAM, A. A. et al. (2012). Physiochemical properties of *Jatropha curcas* seed oil from different origins and candidate plus plants (CPPs). *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 89 (2), 293-300.
- Kamel, D. A. (2018). Smart utilization of jatropha (*Jatropha curcas* Linnaeus) seeds for biodiesel production_ Optimization and mechanism. 8.
- Knothe, G. (2010). Calidad del combustible Biodiesel y la norma ASTM. *Revista Palmas*, 31(especial), 162-171.
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1563>
- McNutt, J. & He, Q. (2016). Development of biolubricants from vegetable oils via chemical modification. *J. Ind. Eng. Chem.*, (36), 1-12.
<https://doi.org/10.1016/j.jiec.2016.02.008>
- Okullo, A., & Noah, T. Process simulation of biodiesel production from *Jatropha Curcas* Seed Oil. *American Journal of Chemical Engineering*, 5(4), 56-63.
<https://doi.org/10.11648/j.ajche.20170504.12>
- Riveros Santamaría, L. M., & Molano, M. A. (2006). Transesterificación del aceite de palma con metanol por medio de una catálisis heterogénea empleando un catalizador ácido. *Revista de Ingeniería*, (24), 43-51.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-49932006000200006&lng=en&tlng=es

- Salgueiro, J. L., Pérez, L., & Cancela, Á. (2014). Simulación y diseño de una planta versátil para la obtención de biodiesel. España: Meubook, S.L,
- Sánchez, I. & Huertas, K. (2012). Obtención y caracterización de biodiesel a partir de aceite de semillas de *Ricinus communis* (higuerilla) modificadas genéticamente y cultivadas en el eje cafetero (Trabajo de grado Químico Indust.). Universidad Tecnológica.
- Silitonga, A. et al. (2013). A global comparative review of biodiesel production from *Jatropha curcas* using different homogeneous acid and alkaline catalysts: Study of physical and chemical properties. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 514-533.
- Stefănescu, I. et al. (2002). On the future of biodegradable vegetable lubricants used for industrial tribosystems. *Tribology*. Rumania, vol.13, 94-98.
- Sustaita-Rodríguez, A., Rocha-Gutiérrez, B. A., García-Triana, A., Ramos-Sánchez, V. H., Beltrán-Piña, B. G., & Chávez-Flores, D. (2019). Epoxidación enzimática de metil ésteres de ácidos grasos de origen vegetal y sus aplicaciones como alternativa para sustituir a los derivados del petróleo. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 22, e174.
- Tinia, I., Mohd, G., Mohamad, F. et al. (2009). Bioenergy Production of Biodegradable Lubricant from *Jatropha Curcas* and Trimethylolpropane. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, 7, 1-9.
- Vásquez, E. (2015). Caracterización físico- química del producto de epoxidación del éster metílico de *Jatropha curcas* "L" con ácido per fórmico. Trabajo de Diploma. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba.