

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v6i12.0107>

EPOXIDACIÓN DE BIODIESEL OBTENIDO A PARTIR DE LA TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITE DE HIGUERA EN LA PROVINCIA DE MANABÍ – ECUADOR

EPOXIDATION OF BIODIESEL OBTAINED FROM THE TRANSESTERIFICATION OF CASTOR OIL IN THE PROVINCE OF MANABÍ - ECUADOR

Dávila-Intriago Susana^{1*}; Román-Solórzano Christopher; García-Muentes Segundo¹; Cevallos-Cedeño Ramón¹; García-Vinces Oswaldo¹

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

*Correo: mdavila5674@utm.edu.ec

Resumen

Este artículo presenta resultados correspondientes a la elaboración de grasa lubricante a partir de la epoxidación química del biodiesel obtenido de la planta *Ricinus communis*, mejor conocida como higuera o higuera. Para su consecución se realizaron procesos de transesterificación del aceite y epoxidación de los ésteres metílicos (FAME). Todo el procedimiento experimental fue realizado por triplicado y estuvo fundamentado en normas americanas (ASTM) y europeas (EU). A su vez, también se caracterizaron las propiedades fisicoquímicas del aceite vegetal, ésteres metílicos (Biodiesel) y ésteres metílicos epoxidados catalogados como grasa lubricante en esta investigación. El rendimiento global del proceso fue 41.131%, mientras que todos los parámetros de calidad del aceite de higuera reportados estuvieron acorde a la especificación de aceite vegetal. La caracterización del biodiesel se realizó mediante la normativa ASTM 6751, donde la mayor parte de sus índices de calidad estuvieron dentro de especificación. No obstante, también, existieron valores altos de viscosidad cinemática a 40°C (4.803 mm²/s) e índice inflamabilidad de 130°C sobrepasando ligeramente los máximos permisibles por la norma. En cuanto al análisis del biodiesel epoxidado se logró categorizarlo mediante las normativas ISO, el valor de la viscosidad cinemática medida a 40 °C de 49.82 cSt hizo clasificarla como ISO VG 46 que es un tipo de lubricante apto para uso de sistemas hidráulicos industriales y móviles que operan a alta presión y temperaturas.

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

Abstract

This article presents results corresponding to the production of lubricating grease from the chemical epoxidation of biodiesel obtained from the *Ricinus communis* plant, better known as fig tree. To achieve this, processes of transesterification of the oil and epoxidation of the methyl esters (FAME) were carried out. The entire experimental procedure was carried out in triplicate and was based on American (ASTM) and European (EU) standards. The physicochemical properties of the vegetable oil, methyl esters (Biodiesel) and epoxidized methyl esters catalogued as lubricating grease in this research were also characterized. The overall yield of the process was 41.131%, while all reported fig oil quality parameters were in accordance with the vegetable oil specification. The characterization of the biodiesel was carried out using ASTM 6751 standards, where most of its quality indexes were within specification. However, there were also high values of kinematic viscosity at 40°C (4.803 mm²/s) and a flammability index of 130°C, slightly exceeding the maximum values allowed by the standard. As for the analysis of the epoxidized biodiesel, it was categorized according to ISO standards. The kinematic viscosity value measured at 40°C of 49.82 cSt made it be classified as ISO VG 46, which is a type of lubricant suitable for use in industrial and mobile hydraulic systems operating at high pressure and temperatures.

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

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 03 de octubre de 2022.

Fecha de aceptación: 14 de noviembre de 2022.

Fecha de publicación: 10 de julio de 2023.



1. Introducción

El desmedido uso energético a nivel mundial y la rapidez con que se reducen las reservas petroleras, han generado un gran interés en investigar variantes sobre el desarrollo de materias primas duraderas y amigables con el ambiente (Rezende et al., 2021). Por su parte, el biodiesel y sus derivados constituyen un gran potencial en la sustitución de compuestos convencionales de origen hidrocarburiífero, por su baja toxicidad y biodegradabilidad (Vilas Bôas et al., 2022). Por lo que es posible epoxidar los aceites vegetales en función de obtener diversos productos como grasas, lubricantes y plastificantes. Las materias primas del biodiesel generalmente se producen por transesterificación de grasas animales, plantas, algas o incluso aceite de cocina usado, lo que hace un uso completo de los recursos naturales (Wu et al., 2020). Un aceite lubricante, está compuesto por una mezcla de materiales de base lubricante, aditivos, modificadores de fricción, emulsificantes, inhibidores de la corrosión, y desemulsificantes que se elaboran a partir de petróleo en

las refinerías, ocasionando una gran contaminación (Davis, 2017). Su aplicación más habitual se deriva a la industria automotora, en la que diversos países del mundo están optando por la inclusión de productos que representen energías renovables y amigables con el objetivo de disminuir el impacto ambiental al planeta (Llanes Cedeño, 2017).

En Ecuador, el uso de combustibles ha estado en constante crecimiento en las recientes décadas según informe del Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos (Delgado, 2015), siendo los productos derivados del petróleo la fuente con una mayor contribución, obteniendo el mayor consumo de energía alrededor de un 89% en el sector de transporte. Esto ha generado que las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) hayan incrementado un 10.7% respecto al 2013 (Llanes Cedeño, 2017). Estadísticamente, no existen bases sólidas sobre la elaboración de aceites lubricantes en Ecuador, porque en su mayoría se importan a granel. Los reportes del Banco Central del Ecuador afirman que entre septiembre de 2017 y

septiembre de 2018 se realizaron importaciones 4.020.000 Toneladas métricas de lubricantes, predestinada para distintas áreas y correspondiente a 333 millones de dólares (BCE, 2018).

Por su parte, existe una gran diversidad de recursos que pueden ser usados como materias primas para la obtención de biodiesel, entre ellos los aceites vegetales de palma, soya, coco, girasol, canola, *Jatropha*, moringa oleífera, entre otros. No obstante, se ha optado por la planta de higuera o higuera (*Ricinus communis*) que es originaria del medio oriente y cultivada en países como Chile, México, Perú, Colombia y Ecuador. Se ha reportado un incremento en la producción y aprovechamiento de esta planta; incluso en Ecuador se ha considerado como un nuevo nicho para la exportación (Vélez Meza, 2021). En cuanto al aceite de higuera, es una importante materia prima para la industria química, siendo utilizado principalmente en la industria cosmética y en la composición de numerosos productos como pinturas, barnices, lubricantes, plásticos, entre otros. Experimentalmente, se ha reportado

la epoxidación del aceite de higuera en insumos para la preparación de poliuretanos sin isocianato, síntesis de monómeros carbonatados y síntesis de resinas epóxicas en general (Alfonso, 2009; Gonçalves & Rocco Lahr, 2020; Moreno & Leonard, 2010). Debido al potencial aprovechable de la planta, la presente investigación tuvo como objetivo elaborar grasa con características de lubricante a partir de la epoxidación del biodiesel obtenido del aceite de higuera y a su vez realizar la caracterización físico-química del producto.

2. Metodología

En el presente trabajo se presenta de forma detallada las diferentes fases mediante las cuales se realizó la investigación. Esta se realizó mediante 2 etapas principales que son la transesterificación y epoxidación. Como materia prima se utilizó aceite de higuera (*Ricinus communis*) proveniente de la ciudad de Portoviejo, el cual se sometió a un análisis físico-químico para conocer sus propiedades iniciales. Posteriormente, el producto final o biodiesel epoxidado fue evaluado mediante las normas ASTM e ISO que rigen las características del

lubricante. Los demás insumos utilizados fueron metanol al 98%, etanol al 95%, ácido sulfúrico, ácido fórmico, agua oxigenada, hidróxido de sodio y bicarbonato de sodio.

Transesterificación: 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). Como se muestra en la siguiente reacción:

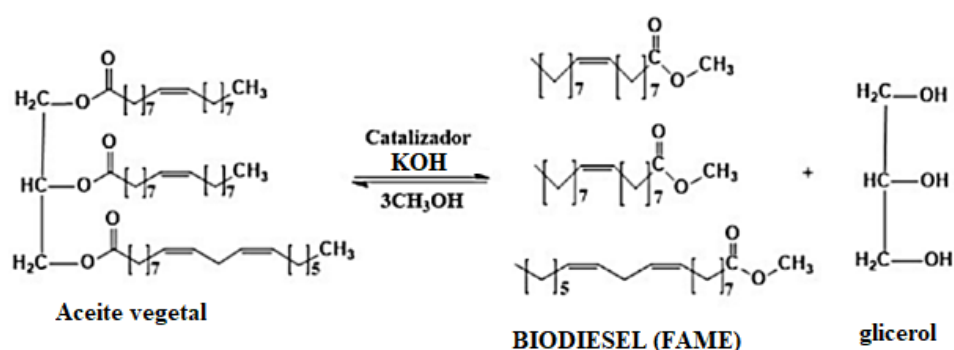


Figura 1. Reacción de transesterificación del aceite vegetal.

Para la obtención del biodiesel, se siguió la técnica descrita por García-Muentes et al. (2018), tomando en cuenta la cantidad de catalizador, agitación, tiempo y temperatura.

1. Se mezcló 44 ml de metanol con 1.4 gr de hidróxido de potasio como catalizador (relación molar 1-10).
2. A 100 gr de aceite de higuera a 60° C, se agregó la mezcla de metóxido de potasio y se la mantuvo con agitación constantemente por 1 hora.

3. Se dejó reposar la mezcla durante 24 horas para lograr la separación de las dos fases: una es biodiesel y la otra es glicerol.

Epoxidación: La epoxidación se produce por la reactividad de un grupo oxirano, consiste en la funcionalización de los aceites vegetales o sus correspondientes ésteres metílicos, mediante la incorporación de un átomo de oxígeno en la insaturación de la cadena del ácido graso (Rodríguez et al., 2019).

La epoxidación se realizó mediante el siguiente procedimiento de catálisis ácida.

En un vaso de precipitación se mezclaron 100 gramos de biodiesel (éster metílico) con 33 ml de ácido fórmico, posteriormente se agregaron 1.7 ml de ácido sulfúrico para que la solución se torne de color negro.

Adicionalmente, se añadieron por goteo 121 ml de peróxido de hidrógeno al 30% en una relación peso/volumen de concentración previamente titulada con una solución de permanganato de potasio (KMnO_4), a través un embudo de separación, en un tiempo de 45 minutos, durante el cual la solución pasó de color negro a amarillo.

1. La mezcla se colocó a una temperatura de 75°C durante 4.5 horas para que se efectúe una

reacción exotérmica y el color de la solución cambie de amarillo a blanco.

2. Se añadieron 6.6 ml de solución de NaOH para alcanzar un pH igual a 5 manteniendo constante la agitación y temperatura.

3. Se trasvasó la mezcla a un embudo separador y se dejó por un tiempo hasta lograr la separación de las fases y realizar la decantación.

4. Finalmente se lavó la fase oleosa con NaHCO_3 hasta que ya no se observó desprendimiento de gas.

Control de calidad: El control de la calidad se realizó a la materia prima (aceite de *Ricinus communis*) y al producto obtenido (lubricante) mediante las normativas ASTM (American Society for Testing and Materials), EN (Normativa Europea) las cuales se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 1.

Normas para la determinación de las propiedades del aceite y el lubricante.

Propiedades	Normativas	Precisión	Unidades
Densidad a 15°C	ASTM D 1289-99	± 0.1	Kg/m^3
Viscosidad cinemática 40°C	ASTM D 445-09	± 0.1	mm^2/s
Viscosidad cinemática 100°C	ASTM D 445-09	± 0.1	mm^2/s
Índice de yodo	EN 41111	± 0.1	$\text{mgI}_2/100 \text{ g}$

Índice de acidez	ASTM D 664	±0.1	mg/g KOH
Índice de saponificación	ASTM D 5558	±0.1	mgNaOH/g
Humedad	ASTM D 5761	±0.1	%
Punto de inflamación	ASTM D 93	±0.1	°C

Densidad. Para medir la densidad se utilizó el método picnómetro según la norma ASTM D-854. Su importancia se deriva en el cambio de densidad respecto a la temperatura, reduciéndola cuando esta se incrementa. Por otra parte, para los aceites minerales a condiciones normales de presión y temperatura la densidad varía entre 82 Kg/m³ a 96 Kg/m³.

Viscosidad. Para su determinación, se utilizó el viscosímetro de Oswald para medir muestras a 40°C y 100°C, respectivamente. Esta propiedad indica la resistencia que ejerce un líquido al fluir, su importancia se deriva en las distintas aplicaciones que tiene el aceite. En el caso de la industria automotriz, la viscosidad debería estar en los rangos correctos para no causar problemas directamente en motores o piezas hidráulicas (Tormos et al., 2016).

Índice de Acidez. El valor ácido es uno de los principales indicadores de la calidad del aceite. Para esto, 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 siguió la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de Acidez} = \frac{V * N * 56.11}{m} \quad (1)$$

En donde:

V: consumo de KOH en mililitros.

N: normalidad de la solución KOH.

56.11: Equivalente químico de KOH.

M: masa del aceite en gramos.

Índice de yodo. Se utilizó 0.075 gramos de aceite de higuera en un Erlenmeyer al que se añadieron 10 ml de cloroformo para disolver la

grasa más 7.5 ml del reactivo de Wijs, se tapó y se agitó el contenido colocándolo en la oscuridad durante 60 minutos para evitar fotodegradación. Seguidamente, se agregó 10 ml de una disolución de yoduro de potasio al 10 % y 25 ml de agua. La valoración se realizó con la disolución de tiosulfato de sodio utilizando como indicador una solución de almidón al 1% (p/v) hasta observar una desaparición del color amarillo producido por el yodo a amarillo tenue.

La fórmula utilizada fue la siguiente:

$$IY = \frac{(V_1 - V_2) * C * 12,69}{m} \quad (2)$$

Donde:

IY: índice de yodo (g de I₂/100g 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).

pH. Es importante mantener un pH regulado para neutralizar la mezcla en la epoxidación de los ésteres metílicos. Para la detección de este parámetro en todos los análisis experimentales se utilizó un pH-metro Fisherbrand. Este equipo cuenta con un electrodo moderno para medir directamente la fuerza de los ácidos disueltos en un lubricante según lo establecido la normativa ASTM D7946.

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:

$$\text{Índice Saponificación} = \frac{(B - M) * N}{P} * Eq \text{ NaOH} \quad (3)$$

Donde:

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.

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.

En cuanto a la fórmula utilizada para calcular la humedad:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{B-C}{A} * 100 \quad (4)$$

Donde se determinaron los pesos correspondientes a:

A: muestra húmeda.

B: crisol + masa húmeda.

C: crisol + masa seca.

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 (Brunet et al., 2015). Para la experimentación, se siguió el método de la copa cerrada Pensky Martens. 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.

3. Resultados y discusión

A continuación, se muestran los análisis fisicoquímicos realizados para el aceite de higuera, además de su comparativa según referencias o especificaciones para aceite crudo.

Tabla 2.

Resultados físico-químicos comparados con la norma INEN 2337.

Propiedad	Unidades	Valor experimental	Rango	Referencia
Densidad a 25°C	Kg/m ³	913.064	840-960	ASTM 1298
Viscosidad Cinemática 40°C	mm ² /s	32.932	33.89	ASTM 445-09
Viscosidad Cinemática 100°C	mm ² /s	7.309	-	ASTM 445-09
Índice de Acidez	mg KOH/g aceite	0.942	<2	ASTM D-664
Índice de Yodo	mg I ₂ /100g	91.720	83-93	Omotehinse et al. (2019)
Índice de Saponificación	mg KOH/g de aceite	183.324	102.9-209.0	Omari et al. (2015)
Humedad	%	0.043	0.02-0.05	ASTM D-1533

La densidad reportada del aceite fue de 913.064 Kg/m³. El valor obtenido estuvo acorde al rango según revisiones bibliográficas para la densidad del aceite de higuera que oscila entre 961 y 1476 kg/m³ respectivamente (Omari et al., 2015; Torrentes-Espinoza et al., 2017). En cuanto a la viscosidad obtenida, se obtuvo un valor de 32.932 mm²/s que disminuyó cuando se la llevó a 100 °C y se obtuvo un valor de 7.309 mm²/s. 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.

Por su parte, al índice de acidez obtenido en esta investigación fue de 0.942 mg KOH/g aceite lo que resulta favorable ya que un índice bajo es un buen indicador del aceite vegetal y podría ser valioso para el proceso de refinación. Contrariamente, un aceite con alto contenido de ácido en su mayoría tiene una calidad de aceite deficiente al que se le suman pérdidas en el proceso de refinación (Omari et al., 2015; Sbihi et al., 2018). Diversos índices de acidez ya publicados oscilan entre 0.14 y 1.97 mg/g de aceite (Omari et al., 2015; Panhwar et al., 2016; Yusuf et al., 2015). No obstante, en la normativa americana ASTM el índice de acidez aceptado

de los aceites vegetales no debe exceder a 2 mg KOH/g aceite (Yusuf et al., 2015).

El índice de yodo cuantifica el nivel de insaturación de las grasas o aceites y se expresa en gramos de yodo. Un valor superior de yodo implica un mayor nivel de insaturación y menor valor también indica un nivel de insaturación bajo. En el aceite de higuera, el índice de yodo promedio es de 83-93g I₂/100g aceite (Omotehinse et al., 2019; Yusuf et al., 2015). El valor obtenido de 91.720 I₂/100g aceite indicó que la cantidad de el yodo que estará presente en los ácidos insaturados es baja. El aceite de higuera se puede considerar como un aceite no secante ya que el valor es menos de 100, por lo que es útil para el freno hidráulico con fluidos y lubricantes.

En cuanto al porcentaje de humedad del aceite resultó de 0.043 %, lo que favoreció al proceso de transesterificación del triglicérido. Según lo descrito por Riveros et al. (2006) es muy probable que con

bajos porcentajes de humedad se reduzcan las posibilidades de saponificación.

Continuamente, el índice de saponificación obtenido fue de 183.24 mg KOH/g de aceite, lo que indicó una alta pureza del aceite vegetal. Este último valor indica similitud entre los índices reportados en trabajos ya publicados donde el valor promedio de índice de saponificación para el aceite de higuera se encuentra entre 165.50 a 187 mg KOH/g de aceite (Omari et al., 2015). Según la literatura, este cambio se debe al área de plantación que es un factor que influye en el valor de saponificación en las semillas oleaginosas; lo que hace que se encuentren diferencias entre los valores de saponificación.

A continuación, en la tabla 3 se muestran las propiedades fisicoquímicas reportadas para el biodiesel obtenido en esta investigación, además de su comparativa según la normativa ASTM que rige la calidad del biodiesel.

Tabla 3.

Propiedades fisicoquímicas del biodiesel.

Propiedad	Unidades	Valor experimental	Referencia ASTM 6751
Densidad a 15°C	Kg/m ³	885.033	870-890
Viscosidad Cinemática 40°C	mm ² /s	5.903	1.9-6.0
Viscosidad Cinemática 100°C	mm ² /s	1.821	-
Humedad	%	0.0492	0.02-0.05
Índice de Acidez	mg KOH/g	0.772	Máximo 0.8
Índice de Yodo	g I ₂ /100	90.162	120
Punto de inflamación	°C	132	130 mínima

Según lo realizado después del proceso de transesterificación, la densidad a 15 °C bajó a 885.033 kg/m³ que se encuentra en el rango referencial para normativa de biodiesel; además de ser comparables con otros trabajos afines realizados por Silitonga et al. (2013) y García-Muentes et al. (2018) sobre la transesterificación de aceites vegetales para la obtención de biodiesel.

El valor de la viscosidad cinemática a 40°C (5.903 mm²/s) resultó estar muy próximo al máximo 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 los conductos de 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.

La acidez es una señal de calidad de la reacción de transesterificación. Teóricamente, 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 0.709 mg KOH/g muy cercano al máximo permisible. La cifra obtenida entra en el rango

permitido con la normativa requerida, además de encontrar similitud con resultados reportados por (Bobade et al., 2013; Okullo & Noah, 2017).

Por su parte, se determinó un índice de yodo experimental de 90.16 g I₂/100g, lo que sugiere una cantidad aceptable ya que el límite máximo del índice de yodo es 120 g I₂/100g según las normas de biodiesel referenciadas por (Silitonga et al., 2011 & García-Muentes et al., 2018).

En cuanto al análisis de la humedad del biodiesel está no debe sobrepasar los 500 ppm o 0.05 % volumen según las normas ASTM D6751 por la aparición de ácidos grasos a través de ésteres y/o ruptura hidrolítica de enlaces dobles en ésteres insaturados (Knothe, 2010). Sin embargo, como se observa en la tabla 3 mediante la transesterificación se obtuvo un porcentaje de humedad del biodiesel

de 0.0492 muy cercano al máximo permitido según especificaciones.

Para el índice de inflamabilidad se reportó un valor de 132 °C sobrepasando lo establecido en la norma ASTM. Según la literatura, un valor superior a la norma podría originar depósitos de carbón y aumentar las cenizas en la cámara de combustión en caso de utilizarse directamente en motores. No obstante, experimentalmente resultaría beneficioso al proceso, se eliminarían más residuos de metanol utilizado en la transesterificación y por consiguiente no existirá problemas para la evaporación (Brunet et al., 2015).

A continuación, se indican los resultados del análisis de calidad obtenidos para los ésteres epoxidados y su referencia según especificaciones para grasas lubricantes.

Tabla 4.

Análisis físico-químico del lubricante.

Propiedad	Unidades	Valor experimental	Referencia	Especificación
Densidad a 20°C	Kg/m ³	921.04	-	ASTM D-1250
Viscosidad Cinemática 40°C	cSt	49.82	61.2-74.8	ISO
Viscosidad Cinemática 100°C	cSt	7.876	2-1500	

Índice de Viscosidad	-	126	-	ASTM D-2270
Humedad	%	0.0032	0.02-0.05	ASTM D6304
Punto de Inflamación	°C	218	220	ASTM D-92
Rendimiento global	%	41.131	-	-

Según lo observado en la tabla 4, se acrecentó la densidad a 921.04 Kg/m³, notándose un aumento significativo de este valor una vez realizada la epoxidación del biodiesel para obtener la grasa lubricante. Según la literatura, este crecimiento está relacionado con el aumento de masa molar y la adición de oxígeno en la reacción de epoxidación (Salgueiro, 2014). Por su parte, la relación directa con la gravedad API adecúa en su clasificación como lubricante pesado.

Para la clasificación de la viscosidad del lubricante se utilizó el Sistema de Viscosidad ISO para lubricantes que establece 18 grados de viscosidad, entre 2 y 1500 cSt a 40°C, cubriendo todo el rango posible desde el aceite de menor viscosidad hasta el de mayor viscosidad. El valor de la viscosidad cinemática medida a 40 °C fue 49.82 cSt, que hizo clasificarla como ISO VG 46 que es un tipo de

lubricante apto para usarse en sistemas hidráulicos industriales y móviles que operan a alta presión y alta temperatura (Mohammed et al., 2020). Otro análisis a considerar, es el aumento de viscosidad cinemática a 100 °C una vez realizada la epoxidación del biodiesel debido al incremento de la masa molar del compuesto. Esto se observó mediante el análisis del índice de viscosidad que demuestra cuanto variará la viscosidad con variaciones de temperatura. El valor obtenido (126) es un indicador de un producto bien refinado con alta resistencia a las piezas al ser lubricadas o movidas mediante su utilización.

Una vez culminado el proceso de epoxidación el porcentaje de humedad se redujo a 0.032 %, lo que indicó un valor aceptable muy afín a la norma establecida; recordando que la presencia de agua en emulsión es un factor fundamental a controlar en el proceso de

elaboración de lubricante por su actividad corrosiva en ciertas partes hidráulicas. En cuanto al punto de inflamación, este limita a la temperatura que debe estar expuesto el lubricante para arder recordando que entre mayor sea la temperatura de ignición más pesado es el lubricante. El punto de inflamación obtenido fue de 218 °C, lo que resulta ventajoso si se utiliza en motores de combustión interna, ya que según Usman et al. (2020) en estos sistemas se requieren puntos de inflamación altos superiores a 215 °C. El rendimiento global del proceso fue menor al 50 %, lo que indica mejoras en optimización de reactantes en el proceso y un mejor manejo de residuos en los subprocesos.

4. Conclusión

La caracterización del aceite permitió verificar que las propiedades fisicoquímicas se encuentran dentro de lo que rigen las normativas y que las condiciones sean las idóneas para realizar los procesos sucesivos de esterificación, transesterificación y epoxidación, respectivamente.

Los ensayos físicos y químicos en los ésteres epoxidados (FAME) permitieron categorizarlos como

biodiesel al encontrarse dentro de la normativa de calidad que rige este combustible.

La caracterización de lubricante permitió categorizarlo según el tipo de lubricante obtenido para la utilización en sistemas de desgaste y máquinas industriales ISO VG 46, ideal para trabajar con sistemas que operan bajo condiciones severas con altos niveles de anti desgaste y una película de protección fuerte.

Bibliografía

- Alfonso, F. L. (2009). El reciclaje de polímeros, alternativa para la síntesis de resinas epóxicas en la industria. *INVENTUM*, 4(7), 20–23. <https://doi.org/10.26620/unimnuto.inventum.4.7.2009.20-23>
- Arenas Dávila, E., Urribarrí, A., Sánchez, J., Rincón, M., Martínez, K., González, E., & Aiello Mazzarri, C. (2020). Producción de biodiesel por esterificación y transesterificación de aceites vegetales de cocina usados. *Revista De La Facultad De Agronomía De La Universidad Del Zulia*, 38(1), 105-127. Retrieved from <https://www.produccioncientificcaluz.org/index.php/agronomica/article/view/34734>

- BCE. (2018). Evolución de la Balanza Comercial Enero – Septiembre / 2018. Banco Central Del Ecuador. <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Sector Externo/BalanzaPagos/balanzaComercial/ebc201811.pdf>
- Berchmans HJ, Hirata S. (2008). Biodiesel production from crude *Jatropha curcas* L. seed oil with a high content of free fatty acids. *Bioresour Technol.* 2008 Apr;99(6):1716-21. doi: 10.1016/j.biortech.2007.03.051. Epub 2007 May 24. PMID: 17531473.
- Bobade, S., Kumbhar, R., & Khyade, V. (2013). Preparation of methyl ester (biodiesel) from *Jatropha curcas* Linn oil. *Research Journal of Agriculture and Forestry Sciences*, 2320, 6063.
- Brunet, R., Boer, D., Guillén-Gosálbez, G., & Jiménez, L. (2015). Reducing the cost, environmental impact and energy consumption of biofuel processes through heat integration. *Chemical Engineering Research and Design*, 93, 203-212.
- Davis, S. (2017). Croda Lubricants Technology Overview. *Tribology & Lubrication Technology*, 73(11), 52–54.
- Fukuda, H., Kondo, A., & Noda, H. (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)
- Gamboa Torres, R. G. (2018). Revisión del estado del arte del desempeño y las emisiones de motores de combustión interna operando con biodiesel o aceite de *Jatropha*.
- 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. Recuperado en 18 de octubre de 2021, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212018000100012&lng=es&tlng=es
- Gonçalves, D., & Rocco Lahr, F. A. (2020). Deterioro y preservación de maderas mediante el uso de preservadores naturales de potencial interés en Brasil. *Bosque (Valdivia)*, 41(3), 213–220.
- Llanes Cedeño, E. A. (2017). Producción e Impacto del Biodiesel: Una Revisión. *INNOVA Research Journal*,

- 2(7), 59–76.
<https://doi.org/10.33890/innov.a.v2.n7.2017.229>
- Mohammed, F. U., Bakare, I. O., & Okieimen, F. E. (2020). *Characterization of Rubber seed oil modified for biolubricant feedstock application*. In TMS 2020 149th Annual Meeting & Exhibition Supplemental Proceedings (pp. 2025-2035). Springer, Cham.
- Moreno, A., & Leonard, F. (2010). Síntesis de resinas epóxicas a partir de aceite epoxidado de palma.
- Okullo, A., & Noah, T. (2017). Process simulation of biodiesel production from *Jatropha curcas* seed oil. *American Journal of Chemical Engineering*, 5(4), 56-63.
- Omari, A., Mgani, Q. A., & Mubofu, E. B. (2015). Fatty acid profile and physico-chemical parameters of castor oils in Tanzania. *Green and Sustainable Chemistry*, 5(4), 154.
<https://doi.org/10.4236/gsc.2015.54019>
- Omotehinse, S. A., Igboanugo, A. C., Ikhuoria, E. U., & Ehigie, C. A. (2019). Characterization of castor seed oil extracted from the seed species native to Edo State, Nigeria. *Journal of Science and Technology Research*, 1(1), 45-54.
- Panhwar, T., Mahesar, S. A., Mahesar, A. W., Kandhro, A. A., Talpur, F. N., Laghari, Z. H., Chang, A. S., & Hussain Sherazi, S. T. (2016). Characteristics and composition of a high oil yielding castor variety from Pakistan. *Journal of Oleo Science*, 65(6), 471-476.
<http://dx.doi.org/10.5650/jos.ess15208>
- Rezende, M. J. C., Lima, A. L. de, Silva, B. V., Mota, C. J. A., Torres, E. A., Rocha, G. O. da, Cardozo, I. M. M., Costa, K. P., Guarieiro, L. L. N., Pereira, P. A. P., Martinez, S., & Andrade, J. B. de. (2021). Biodiesel: An Overview II. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 32, 1301–1344.
<https://doi.org/10.21577/0103-5053.20210046>
- 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
- 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. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2019.0.174>
- Sbihi, H. M., Nehdi, I. A., Mokbli, S., Romdhani-Younes, M., & AlResayes, S. I. (2018). Hexane and ethanol extracted seed oils and leaf essential compositions from two castor plant (*Ricinus communis* L.) varieties. *Industrial Crops and Products*, 122, 174-181. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.05.072>
- Silitonga, A. S., Masjuki, H. H., Mahlia, T. M. I., Ong, H. C., Atabani, A. E., & Chong, W. T. (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.
- Tormos, B., Miró Mezquita, G., Pérez-Gutiérrez, T., & de-Diego-Pardo, J. (2016). Aceites de motor de baja viscosidad: ahorro de combustible y ensayos en condiciones reales. *DYNA: Ingeniería e Industria*, 91(6), 668-674.
- Usman, M., Saleem, M. W., Saqib, S., Umer, J., Naveed, A., & Hassan, Z. U. (2020). SI engine performance, lubricant oil deterioration, and emission: A comparison of liquid and gaseous fuel. *Advances in Mechanical Engineering*, 12(6), <https://doi.org/10.1177/1687814020930451>
- Vélez Meza, N. V. (2021). Evaluación morfoagronómica de la diversidad de la higuera (*Ricinus Communis* L.) presente en la zona centro sur del Ecuador.
- Vilas Bôas, R. N., Mendes, M. F., Vilas Bôas, R. N., & Mendes, M. F. (2022). A Review Of Biodiesel Production From Non-Edible Raw Materials Using The Transesterification Process With A Focus On Influence Of Feedstock Composition And Free Fatty Acids. *Journal of the Chilean Chemical Society*, 67(1), 5433–5444. <https://doi.org/10.4067/S0717-97072022000105433>
- Wu, G., Ge, J. C., & Choi, N. J. (2020). A Comprehensive Review of the Application Characteristics of Biodiesel Blends in Diesel Engines. *Applied Sciences*, 10(22), 8015. <https://doi.org/10.3390/app10228015>

Yusuf, A., Mamza, P., Ahmed, A., & Agunwa, U. (2015). Extraction and characterization of castor seed oil from wild *Ricinus communis* Linn. *International Journal of Science, Environment and Technology*, 4(5), 1392-1404.