



Transesterificación y epoxidación del aceite de coco

Transesterification and epoxidation of coconut oil

Eduardo Patricio Gilces Zambrano^{1 *}; Karen Estefanía Moreira Mendoza²; Segundo Alcides García Muentes³;
Ramón Eudoro Cevallos Cedeño⁴ & Ariana Milena García Bowen⁵

Recibido: 23/07/2023 – Recibido en forma revisada: 12/09/2023 –
Aceptado: 23/12/2023 – Publicado: 19/03/2024

Artículos de
Investigación

Artículos
de Revisión

Artículos
de Ensayos

* Autor para correspondencia.



Resumen

Debido al avanzado incremento demográfico en el mundo, la contaminación y el aumento gradual del precio del petróleo por el agotamiento de las reservas naturales, provoca pensar y actuar de manera inmediata ante una solución para reemplazar dicho combustible en opciones rentables, productivas y amigables con el planeta; como lo es el biodiesel a partir de grasas animales y vegetales por medio de la transesterificación. También se prueban dichas materias primas en la epoxidación de la cual se obtienen productos como: elementos intermedios para la producción de poliuretanos, lubricantes, cosméticos o bien como estabilizadores de PVC. Este artículo presenta una revisión bibliográfica ante similares estudios y demostración a escala de laboratorio, donde se comprobó que el aceite de coco cumplió con la mayoría de los parámetros de la norma NTE INEN 24:1973 a excepción del porcentaje de acidez y humedad, haciéndolo óptimo para procesos de transesterificación y epoxidación respectivamente, cumpliendo también con la mayoría de los parámetros de la norma NTE INEN 2482:2009 a excepción del índice de yodo, siendo éste apto para el uso de energía alternativa. En cuanto a la epoxidación los valores variaron considerablemente categorizándolo en el grado 5 de viscosidad ISO para lubricante.

Palabras claves: demográfico, transesterificación, epoxidación, PVC

Abstract

Due to the advanced demographic increase in the world, pollution and the gradual increase in the price of oil due to the depletion of natural reserves, it causes us to think and act immediately in the face of a solution to replace said fuel with profitable, productive and eco-friendly options. planet: as is biodiesel from animal and vegetable fats through transesterification. Said raw materials are also tested in the epoxidation from which products are obtained such as: intermediate elements for the production of polyurethanes, lubricants, cosmetics or as PVC stabilizers. This article presents a bibliographical review of similar studies and demonstration on a laboratory scale, where it was verified that coconut oil complied with most of the parameters of the NTE INEN 24:1973 standard, except for the percentage of acidity and moisture, making it optimal for transesterification and epoxidation processes respectively, also complying with most of the parameters of the NTE INEN 2482:2009 standard, with the exception of the iodine value, which is suitable for the use of alternative energy. Regarding epoxidation, the values varied considerably, categorizing it in ISO viscosity grade 5 for lubricant.

Keywords: demographic, transesterification, epoxidation, PVC

1. Introducción

El crecimiento poblacional mundial causa como efecto adverso la obligación de aumentar la demanda de energía, la cual, es producida mayormente por fuentes tradicionales no renovables como: metano, carbón y petróleo, aportando el incremento de emisiones de CO_x en donde este gas que es provocado por el hombre producto de la explotación de estos combustibles fósiles, genera el incremento efecto invernadero causante de varias consecuencias como la alteración del clima [1].

Debido a estas consecuencias inaceptables y a la rápida industrialización que acarrea la explotación, lleva consigo el agotamiento de las reservas naturales del planeta y contaminación del mismo. Por lo que, la exigencia ante todo esto lleva directamente a buscar alternativas factibles y aceptables que sean favorables como es la obtención de biodiesel a partir de aceites vegetales, grasas animales, aceites residuales, lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales, entre otras fuentes [2].

Para la obtención del biodiesel, se utilizó el método más convencional que es la transesterificación para reducir la viscosidad de la grasa o aceite, la cual consistió en que los triglicéridos contenidos en los aceites y las grasas se combinan con un alcohol de bajo peso molecular (metanol) para producir una mezcla de ésteres grasos y glicerina en presencia de un catalizador (hidróxido de sodio) [3].

Otro de los métodos empleados para dar un valor agregado a los aceites y grasas es la epoxidación, en el cual se funcionalizan los aceites vegetales o sus correspondientes ésteres metílicos a través de la incorporación de un átomo de oxígeno en la instauración de la cadena del ácido graso. Los obtenidos a partir de éster metílico de ácido graso FAME (Fatty Acid Methyl Ester) epoxidados han demostrado tener mejores propiedades para su aplicación industrial. Este método permite obtener una amplia gama de compuestos, ya que funcionan como intermediarios para la

¹ Universidad Técnica De Manabí. <https://orcid.org/0009-0000-2571-7188>, egilces5229@utm.edu.ec; Portoviejo; Ecuador.

² Universidad Técnica De Manabí. <https://orcid.org/0000-0002-6516-8336>, kmoreira4312@utm.edu.ec; Portoviejo; Ecuador.

³ Universidad Técnica De Manabí. <https://orcid.org/0000-0002-8152-3406>, segundo.garcia@utm.edu.ec; Portoviejo; Ecuador.

⁴ Universidad Técnica De Manabí. <https://orcid.org/0000-0002-8583-4674>, ramon.cevallos@utm.edu.ec; Portoviejo; Ecuador.

⁵ Universidad Técnica De Manabí. <https://orcid.org/0009-0007-8887-9644>, agarcia4908@utm.edu.ec; Portoviejo; Ecuador.

producción de poliuretanos, lubricantes, cosméticos o bien como estabilizadores de PVC [4].

En el presente trabajo, se utilizó aceite de coco rico en ácidos grasos saturados de longitud de cadena media. Dada su baja instauración, es una grasa muy estable químicamente -0.1% de su peso total- [5]; contiene 6% de ácido oleico monoinsaturado, 2% de ácido linoleico polinsaturado, 2% de ácido esteárico saturado, 8% de ácido palmitíco saturado, 7% de ácido cáprico saturado, 49% ácido laúrlico saturado, 18% de ácido mirístico saturado, 8% de ácido caprílico saturado [6].

Por lo tanto, el objetivo fue tansesterificar y epoxidar el aceite de coco a escala de laboratorio caracterizando el producto, referido a la norma NTE INEN 2482:2009 para biodiesel y NTE INEN 24:1973 para grasa de coco, para su posterior evaluación y categorizarlo como alternativa para lubricante o energía alternativa.

2. Materiales y métodos

Como materia prima se utilizó aceite previamente obtenido de la copra del coco seco. Las etapas experimentales se dividieron en: (i) caracterización (ii) transesterificación (iii) epoxidación [7].

2.1. Transesterificación

Antes de la transformación a su correspondiente éster epoxidado, los aceites vegetales fueron sometidos a un mecanismo de reacción de la transesterificación en donde la molécula pasó de tri a di y monoglicérido, respectivamente; dando como producto principal tres moléculas de ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) y una molécula de glicerol [4].

La técnica empleada, fue la descrita por [8]. La reacción de transesterificación se desarrolló en una proporción molar de alcohol a triglicérido de 3 a 1, reaccionando en la metanólisis 1 mol de triglicérido con 3 moles de alcohol, utilizando un exceso de alcohol. Sin embargo, esto pudo generar problemas de separación de las fases, disminuyendo el rendimiento y aumentando el coste de producción.

La relación molar óptima en catálisis básica es 6:1 (rendimientos > 93%) [9].

Según [10] se mezcló 27 ml de metanol GR con 1g de hidróxido de sodio GR (99,9% de pureza) como catalizador y se agregó 100 g de aceite de coco con agitación constantemente durante 1 hora. Finalmente, se dejó reposar la mezcla durante 24 horas para lograr la división de las dos fases: una fase de biodiesel y la otra de glicerol.

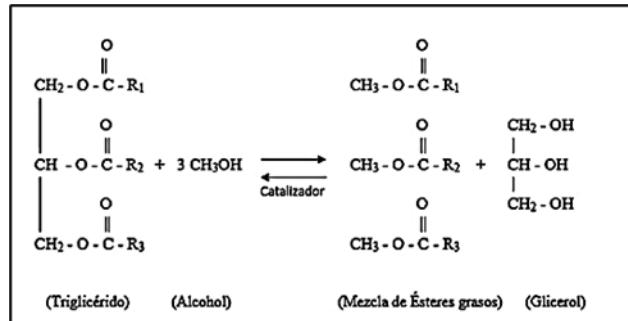


Figura 1. Transesterificación típica de un triglicérido con metanol para la producción de alquil ésteres de ácidos grasos y glicerol.

Fuente: [10]

2.2. Epoxidación

La epoxidación es un método que consiste en la funcionalización de los aceites vegetales o sus correspondientes ésteres metílicos a través de la incorporación de un átomo de oxígeno en la instauración de la cadena del ácido graso [4].

En cuanto a la experimentación, en un matraz Erlenmeyer se mezclaron 150 g de aceite con 17 ml de ácido fórmico; posteriormente, se añadió 1 ml de ácido sulfúrico, hasta que la mezcla alcance un viraje de color amarillo a negro. Seguidamente, se añadieron 63 ml de peróxido de hidrógeno al 30% por goteo en un embudo separador, en un tiempo de 45 minutos.

Finalmente, se dejó calentar hasta una temperatura de 60 °C dejando reaccionar la mezcla durante 3 horas produciéndose una reacción exotérmica; el color amarillo desapareció paulatinamente hasta obtener un producto de color blanco. Neutralizada la reacción se desechó el agua y por lo consiguiente se midió el pH, el cual fue de 7 (neutro). Por último, se lavó la fase oleosa con agua destilada a 60°C, hasta que el agua presentase un color claro.

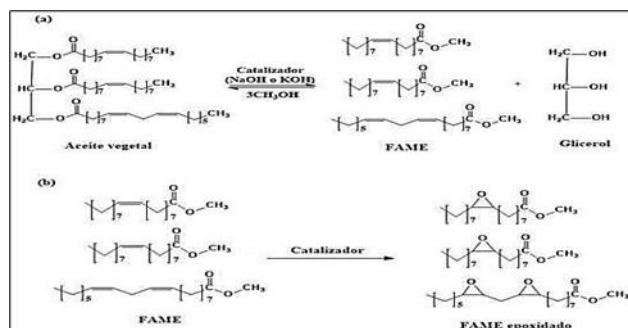


Figura 2. Esquema de reacción general para el proceso de obtención de FAMEs epoxidados. (a) Transesterificación de aceites vegetales. (b) Epoxidación.

Fuente: [4]

2.3. Pruebas fisicoquímica

Las propiedades fisicoquímicas 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, el biodiesel y el aceite - biodiesel epoxidado (lubricante). Cabe mencionar que las pruebas de cada uno de los parámetros físicos- químicos se realizaron por triplicado.

Tabla N° 1. métodos de prueba estandarizados	
PROPIEDADES	Método de Ensayo
Índice de yodo	NTE INEN 37
Viscosidad cinemática 40°C	ASTM D 445-09
Densidad relativa, 25/25°C	NTE INEN 35
Acidez (como ácido láurico)	NTE INEN 38
Índice de saponificación	NTE INEN 40
Humedad	NTE INEN 39

Fuente: [11]; [12]

2.3.1. Índice de Yodo

Se colocaron aproximadamente 0.08 g de las muestras en un matraz Erlenmeyer. Seguidamente, se añadieron 10 ml de cloroformo para disolver la grasa y se añadieron 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 foto degradación. Seguidamente, se añadieron 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 ausencia total del color amarillo producido por el yodo y dando lugar a la presencia de un color amarillo tenue. Por último, se agregó una pizca de almidón y se prosiguió hasta el momento exacto del viraje de color.

La fórmula para utilizar fue la siguiente:

$$\text{Ind } I_2 = \frac{(V - V_1) \times N \times 12.6}{m} \quad (1)$$

Siendo:

$Ind \ I_2$ = índice de yodo de la muestra, en g/g.

V = media aritmética de los volúmenes de solución de tiosulfato de sodio empleados en la titulación de los ensayos (blanco), en cm^3

V_1 = volumen de solución de tiosulfato de sodio empleado en la titulación de la muestra en, cm^3

N = normalidad de la solución de tiosulfato de sodio.

m = masa de la muestra analizada, en g.

2.3.2. Densidad

Para medir la densidad de las muestras se utilizó un picnómetro de 25 ml.

La densidad relativa será:

$$d_{25} = \frac{m_2 - m}{m_1 - m} \quad (2)$$

Siendo:

d_{25} = densidad relativa a 25/25°C.

m = masa del picnómetro vacío, en g.

m_1 = masa del picnómetro con agua destilada, en g.

m_2 = masa del picnómetro con muestra, en g.

2.3.3. Viscosidad cinemática

Se utilizó el viscosímetro de Oswalt para medir la viscosidad de las muestras a 40°C. Su funcionamiento se basó en la medición del tiempo donde el fluido recorrió una distancia entre un espacio determinado.

La viscosidad cinemática viene dada mediante la siguiente expresión:

$$\eta = \eta_{H_2O} \frac{\rho_m * t'}{\rho_{H_2O} * t} \quad (3)$$

A continuación, se muestran los valores de la viscosidad del agua para varias temperaturas [13].

η_{H_2O} (millistokes)	1.793	1.522	1.311	1.142	1.006	0.893	0.800
T (°C)	0	5	10	15	20	25	30

Siendo:

η = viscosidad cinemática en mSt

η_{H_2O} = viscosidad dinámica del agua en mSt

ρ_m = densidad de la muestra

ρ_{H_2O} = densidad del agua

t' = tiempo de caída de la muestra

t = tiempo de caída del agua

2.3.4. pH

Es importante mantener un pH regulado para neutralizar la mezcla en la transesterificación y epoxidación de los esteres metílicos. Para esto, se emplearon tirillas de papel tornasol.

2.3.5. Humedad

Para la determinación de la 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 agregó la muestra. Seguidamente, se volvió a pesar con la muestra y se lo llevó a la estufa durante 2 horas a una temperatura de 100 °C. Finalmente, se retiró de la estufa el crisol con la muestra y se colocó en el desecador por 30 minutos. Por último, se pesaron los crisoles y se tomaron los datos correspondientes.



La fórmula empleada fue la siguiente:

$$\% \text{ de humedad} = [(B - C)/A] * 100 \quad (4)$$

Siendo:

B = masa de crisol con la muestra antes del calentamiento, en g.

C = masa de crisol con la muestra después del calentamiento, en g.

A = masa de crisol vacío, en g.

2.3.6. Índice de Saponificación

En un matraz Erlenmeyer de 250 ml, se pesaron 2 g de la muestra, en donde se agregaron 40 ml NaOH al 0.081 N; posteriormente, se calentó la muestra a 60 °C, y se agitó a 240 rpm por una hora hasta saponificación. Se realizó un ensayo en blanco similar en todos los aspectos. Una vez saponificada la muestra, se procedió a titular añadiendo 4 gotas de indicador fenolftaleína.

La fórmula empleada fue la siguiente:

$$\text{índice de saponificación} = \frac{40(V_1 - V_2)(N)}{m} \quad (5)$$

Siendo:

i = índice de saponificación del producto, en mg/g.

40 = Equivalente químico de NaOH

V₂ = volumen de solución de ácido clorhídrico o sulfúrico empleado en la titulación de la muestra, en cm³.

V₁ = volumen de solución de ácido clorhídrico o sulfúrico empleado en la titulación del ensayo en blanco, en cm³.

N = normalización de la solución de ácido clorhídrico o sulfúrico.

m = masa de la muestra analizada, en g.

2.3.7. Porcentaje de Acidez

Para la determinación del porcentaje de acidez, se realizó mediante valoración o titulación; se agregó en un matraz Erlenmeyer 2 g de la muestra con 10 mL de etanol; posteriormente, se añadieron 3 gotas de fenolftaleína. Se agitó constantemente hasta homogenizar la mezcla, y mediante valoración se añadió NaOH al 0.081 N gota a gota, hasta obtener un color rosado.

La fórmula empleada fue la siguiente:

$$\% A = \frac{M * V * N}{10 * m} \times 100\% \quad (6)$$

Siendo:

%A = acidez del producto, en porcentaje de masa.

M = masa molecular de ácido usado para expresar el resultado (200).

V = volumen de la solución de hidróxido de sodio o de potasio empleado en la titulación, en

N = normalidad de la solución de hidróxido de sodio o de potasio.

m = masa de la muestra analizada, en g.

2.3.8. Índice de Acidez

La fórmula empleada fue la siguiente:

$$IA = \frac{56,1 * V * N}{m} \quad (7)$$

Siendo:

IA = índice de acidez del producto, en mg/g.

56,1 = masa molar de Hidróxido de potasio

V = volumen de la solución de hidróxido de sodio o de potasio empleado en la titulación, en cm³

N = normalidad de la solución de hidróxido de sodio o de potasio.

m = masa de la muestra analizada, en g.

3. Resultados

Tabla N° 2. Caracterización del aceite de coco.

Parámetros físicos químicos	Unidad	Parte experimental	Referencia	Especificación
Porcentaje de acidez	%	0.405	0 – 0.2	NTE INEN 38
Índice de acidez	mg KOH/g de grasa	1.14	2 máx	[14]
pH	-	6	-	-
Densidad relativa 25/25°C	-	0.9104	0.907 - 0.919	NTE INEN 35
Viscosidad cinemática a 40 °C	mm ² /s	22.69	21.84 - 27.23	[15] [16]
Humedad	%	0.07	0.05	NTE INEN 39
Índice de saponificación	mg NaOH/g de grasa	255	250-264	NTE INEN 40
Índice de yodo	gI2/100 g m	7.875	7.5 – 10.5	NTE INEN 37

Tal como muestra la tabla 2, se observa que la mayoría de los parámetros están dentro del rango permisible según la norma establecida para grasa de coco. Sin embargo, el porcentaje de acidez no se encuentra dentro del rango de la norma, pero, si su índice de acidez para ser utilizado como materia base de los aceites vegetales, tal como mencionan [14], que deben tener un índice de acidez menor que 2 mg KOH/g de grasa, la cual representa una acidez óptima para las etapas posteriores del proceso.



En cuanto al porcentaje de humedad existió un leve incremento a lo permitido del máximo de la norma, lo cual no varía mucho en el proceso para la transesterificación, ya que, según [17] es muy factible valores ligeramente superiores al máximo de la norma puesto que se disminuyen las probabilidades de saponificación, lo que fue comprobado con el índice de saponificación en el que indica una alta pureza en la grasa.

de ácidos grasos saturados y es por esto que el índice de yodo es bajo ya que el 8% restante es de ácidos grasos insaturados.

Además, esta característica lo hace atractivo para la obtención de biodiesel, dado que, a menor índice de yodo en el aceite de partida, mejor será el combustible en términos de estabilidad oxidativa y aumento en la lubricación del motor, lo que concluye que es apto para un lubricante en su posterior proceso de epoxidación.

Tabla N°3. Caracterización del biodiesel.

Parámetros físicos químicos	Unidad	Parte experimental	Referencia	Especificación
Porcentaje de acidez	%	0.486	0 - 0.5	ASTM D664
pH	-	6	-	-
Densidad a 15°C	kg/m³	703.2	880 máx.	ASTM D1298
Viscosidad cinemática a 40°C	mm²/s	1.97	1.9- 6	ASTM D445
Humedad	%	0.048	0-0.05	ASTM D6751
Índice de saponificación	mg NaOH/g de grasa	257	370 máx.	ASTM D5558-95
Índice de yodo	gI2/100g M	7.25	120 máx.	EN 14111

De acuerdo con los valores obtenidos en la tabla 3, el único valor relativamente bajo fue el índice de yodo en comparación con el máximo aceptable de 120 mgI2/g para combustibles a utilizar en motores de combustión interna. Un valor bajo de yodo dará como resultado depósitos de carbón muy reducidos en las partes internas del motor y la tendencia a bloquear los orificios de los inyectores, por lo que no es recomendable ser usado como combustible para motores, pero, si como un combustible base a utilizar como energía alternativa en posteriores procesos de purificación y refinación que se dan para

incrementar su autonomía y hacerlo apto en posteriores usos; no obstante, esto también se debe a la estructura del aceite en la que el 92% son ácidos grasos saturados, siendo el ácido láurico el predominante, en un 49%, lo que concuerda con la teoría que a mayor porcentaje de ácidos grasos insaturados en la muestra, mayor yodo reaccionará con estos dobles enlaces, donde, finalmente da como resultado un índice mayor de yodo; esto se comprueba con la estructura del aceite de coco que su mayor porcentaje es

Tabla N°4. Caracterización del aceite epoxidado.

Parámetros físicos químicos	Unidad	Parte experimental	Referencia	Especificación
Porcentaje de acidez	%	0.702	0 - 0.5	ASTM D664
pH	-	3	-	-
Densidad relativa 15 °C	-	0.94	-	NTE INEN 35
Densidad a 15 °C	kg/m³	940	880 máx.	ASTM D1298
Densidad relativa 40 °C	-	0.88	-	NTE INEN 35
Densidad a 40 °C	kg/m³	880	-	-
Viscosidad cinemática a 40 °C	cSt	4.69	1.98-3520	[18]
Índice de yodo	gI2/100g M	3.15	120 máx.	EN 14111

Como se muestra en la tabla 4, el porcentaje de acidez se elevó en comparación al transesterificado, que a su vez sobrepasa el límite de la norma; una de las causas que provoca esto es la oxidación del aceite debido a que en el proceso de epoxidación incorpora un átomo de oxígeno en la instauración del ácido graso, donde, esta degradación por oxidación aumentó y a su vez también aumentó el porcentaje acidez. Debido a esta adición de oxígeno en el proceso de epoxidación su densidad a 15°C aumentó considerablemente sobre pasando el límite de la norma; cabe destacar que también se realizó la caracterización de la densidad a 40°C para obtener una viscosidad cinemática a dicha temperatura, en donde se muestra que la densidad redujo por acción de la temperatura y que a su vez se ajusta al valor máximo de la norma de la densidad a 15°C. También se muestra que la viscosidad cinemática a 40°C estuvo dentro de la referencia mientras que el índice de yodo estuvo por debajo de la norma.

3.1. Discusión

El estudio fue realizado para comprobar la teoría de la epoxidación en la que incorpora un átomo de oxígeno a través de la cadena insaturada (dobles enlaces) y se decidió trabajar con el aceite o grasa de coco, que es muy rico en ácido láurico (saturado) y se afirmó esta teoría, ya que el



aceite o grasa si epoxidó debido a que el menor porcentaje de este aceite (10%) está formado por ácidos insaturados, es decir que el 10% de este aceite epoxidó correctamente y se pudo categorizarlo como un lubricante de grado ISO 5. En cuanto a la transesterificación de acuerdo a los resultados sirve como base para ser utilizado como biocombustible, ya que debido a su bajo índice de yodo no puede ser usado directamente como biodiesel.

4. Conclusiones

Se obtuvo biodiesel a partir de grasa vegetal de coco en una etapa mediante el uso de hidróxido de sodio como catalizador, presentando valores relativamente bajos requeridos por la norma como: el índice de yodo, lo que demuestra que este biodiesel no puede ser utilizado como combustible en motores de combustión pero si sirve como una materia prima para este, y en cuanto a la epoxidación se afirma con la teoría que debido al porcentaje bajo de ácidos grasos insaturados que tiene la grasa de coco, no se obtuvieron valores factibles para dicho proceso, pero este si sirve para materia prima de un lubricante de grado 5 según la viscosidad cinemática de la ISO.

El aceite, biodiesel y epoxidado obtenido a partir de grasa de coco cumple con la mayoría de los parámetros establecidos en las normas NTE INEN 2482:2009 para biodiesel y NTE INEN 24:1973 para grasa de coco, y que en cuanto a su calidad esta depende de estas normas.

El tiempo óptimo a una temperatura de 60 °C para el transesterificado se definió que a 60 min fue el mejor debido a que tuvo más tiempo de combustión en un ensayo de encender trozos de papel con el biodiesel y que en los otros tiempos de 35 y 45 min no tuvo una buena estabilidad de combustión.

De acuerdo con su viscosidad cinemática del epoxidado, este se categoriza en grado 5 de viscosidad ISO, lo cual sus límites van de 4.14 a 5.06 cSt [18] y donde este tipo de aceite lubricante de elevada fluidez y calidad superior está especialmente formulado para trabajar en sistemas de elevada velocidad y precisión [19].

Referencias.

- [1] A. Demirbas, «Biodiesel production from vegetable oils by supercritical methanol,» 2005. [En línea]. Available: <https://nopr.niscpr.res.in/bitstream/123456789/5379/1/JSIR%2064%2811%29%20858-865.pdf>.
- [2] J. L. Pulido, W. S. F. Moreno, M. J. A. Tapia, A. D. G. Delgado, V. O. C. Concha y J. R. Nunhez, «Estudio termoquímico asistido por computadora para la producción de biodiesel,» 2019. [En línea]. Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-100X2019000200077.
- [3] E. Moron, «Transesterificación del aceite de coco para la producción de ésteres metílicos. Práctica de laboratorio,» 2018. [En línea]. Available: <https://steemit.com/steemstem/@emiliomoron/transesterificacion-n-1554992889>.
- [4] A. Sustaita Rodríguez, B. Rocha Gutiérrez, A. García Triana, V. Ramos Sánchez, B. Beltrán Piña y D. & Chávez-Flores, «bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/>). TIP Revista Especializada en Ciencias PUBLICACIÓN CONTINUA. 22, 1–17,» 2019. [En línea]. Available: <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2019.0.174>.
- [5] A. Zamora, «Grasas, Aceites, Ácidos grasos, Triglicéridos,» 2008. [En línea]. Available: <https://www.scientificpsychic.com/fitness/aceites-grasas.html>.
- [6] A. R. Estelrich, «PROPIEDADES DEL ACEITE DE COCO,» 2018. [En línea]. Available: <https://oushia.com/propiedades-del-aceite-de-coco-2/>.
- [7] J. G. Veas Coba y F. J. Duque-Aldaz, «Evaluación del potencial energético en distintos tipos pellets a partir de biomasa lignocelulósica raquis de banano (musa acuminata),» Universidad de Guayaquil, 2023.
- [8] BiodiSol, «La producción de Biodiésel,» s.f. [En línea]. Available: <https://www.biodisol.com/biodiesel-que-es-el-biodiesel-definicion-de-biodiesel-materias-primas-mas-comunes/la-produccion-de-biodiesel-materias-primas-procesos-calidad/>.
- [9] J. F. Pérez, M. D. Velázquez, F. L. Pérez y Y. S. Mora, «Epoxidación del aceite vegetal de Jatropha curcas L. con ácido peracético,» 2018. [En línea]. Available: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852018000200015.
- [1] S. M. García, «SIMULACIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL A PARTIR DEL ACEITE DE JATROPHA CURCAS..,» Universidad de Oriente, Facultad de Ingeniería Química y Agronomía, Departamento de Ingeniería Química, Santiago de Cuba, 2019.
- [1] INEN, «BIODIESEL. REQUISITOS NTE INEN 2482:2009,» 2009. [En línea]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2482.pdf>.
- [1] INEN, «NTE INEN 24:1973,» 1973. [En línea]. Available: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_24.pdf.
- [1] L. Mardones y S. Juanto, «PRÁCTICA 4: MEDIDA DE
- [3] VISCOSIDADES Y DENSIDADES,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/docencia/basesFQ/Pract/cuatroycinco.pdf>.
- [1] G. B. Toala, P. B. Vivas y S. M. García, «Caracterización física-química de la epoxidación de biodiesel obtenido a partir de grasa de pollo residual,» 2022. [En línea]. Available: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012022000300031&lng=es&nrm=iso&tlang=es.
- [1] T. D. M. Velásquez, «El aceite de coco (Cocos nucifera) como estabilizante de asfaltenos en un crudo del Estado Monagas, Venezuela: efecto de la temperatura,» 2019. [En línea]. Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-34612019000200289#B24.
- [1] E. Bello, I. Adekanbi y F. Akinbode, «Production and
- [6] characterization of coconut (Cocos nucifera) oil and its methyl ester,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.idpublications.org/wp-content/uploads/2015/02/Paper-to-Upload-Production-and-Characterization-of-Coconut.pdf>.
- [1] L. M. R. Santamaría y M. Á. Molano, «Transesterificación del
- [7] aceite de palma con metanol por medio de una catálisis heterogénea empleando un catalizador ácido,» 2005. [En línea]. Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-49932006000200006&lng=en&tlang=es.
- [1] SWISSOIL, «Grados de Viscosidad ISO,» 2001. [En línea].
- [8] Available:



Universidad de
Guayaquil

Facultad de
Ingeniería Química

Ingeniería Química y Desarrollo

<https://revistas.ug.edu.ec/index.php/iqd>

ISSN – p: 1390 -9428 / ISSN – e: 3028-8533 / INQUIDE / Vol. 06 / N° 01

https://www.swissoil.com.ec/boletines/SO_Boletin05_viscosidad%20ISO.pdf.

- [1] Olipes, «Maxifluid VG5,» s.f. [En línea]. Available:
- 9] <https://www.olipes.com/eu/es/lubricacion-por-aceite/167-maxifluid-vg5-8436044748080.html>.