

The logo for the journal 'infoANALÍTICA' is displayed in a blue, sans-serif font. The word 'info' is in a smaller size and weight than 'ANALÍTICA', which is in a larger, bold font.

infoANALÍTICA

ISSN: 2602-8344

ISSN: 2477-8788

revistainfoanalitica@gmail.com

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Ecuador

Baque P., Génesis; Intriago F, Anthony; García M,
Segundo; Burgos B, Gabriel; García V, Gonzalo
EPOXIDACIÓN DE ACEITE DE HIGUERILLA (*Ricinus
communis*) DE LA PROVINCIA DE MANABÍ-ECUADOR
infoANALÍTICA, vol. 11, núm. 1, 2023, Julio-Diciembre, pp. 9-30
Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Ecuador

DOI: <https://doi.org/10.26807/ia.v11i1.244>

- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org



EPOXIDACIÓN DE ACEITE DE HIGUERILLA (*Ricinus communis*) DE LA PROVINCIA DE MANABÍ–ECUADOR

EPOXIDATION OF CASTOR OIL (*Ricinus communis*) FROM THE
PROVINCE OF MANABÍ-ECUADOR

Génesis Baque P.^{1*}, Anthony Intriago F.¹, Segundo García M.²,
Gabriel Burgos B.², & Gonzalo García V.³

Recibido: 5 de julio 2022 / Aceptado: 7 de diciembre 2022

DOI: 10.26807/ia.v11i1.244

Palabras clave: epoxidación, higuera, lubricante, reacción de Prileschajew

Keywords: epoxidation, higuera, lubricant, Prileschajew reaction

1 Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas, Escuela de Ingeniería Química, Laboratorio de Aguas, Portoviejo, Ecuador (*correspondencia: gbaque2521@utm.edu.ec, aintriago1377@utm.edu.ec).

2 Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Departamento de Procesos Químicos, Alimentos y Biotecnología, Portoviejo, Ecuador (segundo.garcia@utm.edu.ec, gabriel.burgos@utm.edu.ec).

3 Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Laboratorio de Química, Portoviejo, Ecuador (gonzalo.garcia@utm.edu.ec).

RESUMEN

El aceite de higuierilla (*Ricinnus communis*) atrae el interés en la industria química porque puede emplearse como materia prima para producir productos químicos o fuentes de energía por medio de modificaciones químicas, como es el caso de la epoxidación. El presente estudio, de índole investigativa y experimental, se enfoca en la epoxidación del aceite de higuierilla de la variedad Portoviejo-67 de la provincia de Manabí-Ecuador por medio de la reacción de Prileschajew para evaluar las características fisicoquímicas del aceite crudo y epoxidado mediante las normas ASTM D-5558, EN 14111, NTC 2366 para índice de saponificación, índice de yodo e índice de acidez mediante técnicas de titulación, norma INEN 39 para contenido de humedad mediante pérdida por calentamiento, norma ASTM D-1217 para densidad por picnometría y viscosidad cinemática por medio de un viscosímetro capilar mediante la norma ASTM D-445 comparando los resultados con las especificaciones ASTM y DIN ISO 51605: 2010-09. Según los resultados, el aceite crudo y epoxidado cumplen las especificaciones ASTM y DIN ISO 51605: 2010-09 a excepción de la humedad y la acidez con valores superiores a 0,075 % y 2 mg KOH/g de aceite, respectivamente, representando una disminución en la calidad de los aceites, referente a la epoxidación se obtuvo una conversión del 81,34 % de las insaturaciones y de acuerdo a la viscosidad se pudo clasificar el aceite epoxidado con un grado ISO VG 320 ideal para lubricación de engranajes industriales. Se concluye que se logró alcanzar una alta conversión de los dobles enlaces a grupos epoxi, siendo el proceso ideal para obtener altos rendimientos.

ABSTRACT

Castor oil (*Ricinnus communis*) attracts interest in the chemical industry because it can be used as a raw material to produce chemical products or energy sources through chemical modifications such as epoxidation. The present study is of an investigative and experimental nature that focuses on the epoxidation of castor oil of the Portoviejo-67 variety from the province of Manabí-Ecuador through the Prileschajew reaction to evaluate the physicochemical characteristics of

crude and epoxidized oil through the ASTM D-5558, EN 14111, NTC 2366 standards for saponification number, iodine number and acid number by titration techniques, INEN 39 standard for moisture content by heating loss, ASTM D-1217 standard for density by pycnometry and kinematic viscosity by means of a capillary viscometer using the ASTM D-445 standard, comparing the results with the specifications ASTM and DIN ISO 51605: 2010-09. According to the results, the crude and epoxidized oil meets the ASTM and DIN ISO 51605: 2010-09 specifications, except for moisture and acidity with values are greater than 0.075 % and 2 mg KOH/g oil, respectively, representing a decrease in the quality of the oils. Regarding the epoxidation, a conversion of 81.34 % of the unsaturations was obtained and according to the viscosity the epoxidized oil could be classified with an ISO VG 320 grade ideal for industrial gear lubrication. It is concluded that a high conversion of the double bonds to epoxy groups was achieved, being the ideal process to obtain high yields.

INTRODUCCIÓN

Una de las problemáticas a resolver en la actualidad es la sustitución de materias primas derivadas del petróleo por medio de la aplicación de aceites vegetales para obtener productos de valor comercial que no comprometan negativamente al ecosistema siendo más seguras, limpias y respetuosas con el medio ambiente (Cruz et al., 2015).

Muchos productos químicos provenientes de la industria se basan en el empleo de los aceites minerales y a medida que aumenta la demanda de productos que se basan en la utili-

zación de materia prima renovables los aceites vegetales han tomado terreno como materia prima importante en la industria química. Sin embargo, para varias aplicaciones, son necesarias muchas reacciones químicas y bioquímicas a fin de convertir los aceites vegetales brutos en productos funcionales.

La epoxidación se encuentra entre tales reacciones que han sido utilizadas ampliamente para modificación de aceites insaturados (Lämsä y Kosonen, 2016).

La epoxidación resulta de un proceso de oxidación sobre los dobles enlaces que posteriormente da la formación de un anillo oxirano. En la industria para la obtención de epóxidos de aceites vegetales es común emplear la reacción de Prileschajew que consiste en una reacción de catálisis homogénea, generalmente ácida, en presencia de un ácido percarboxílico como agente oxidante que puede ser generado in situ a partir de un ácido carboxílico y peróxido de hidrógeno como donante de oxígeno, el producto obtenido es de gran valor agregado para varias aplicaciones, especialmente como lubricantes, aditivos, bases poliméricas o plastificantes (Martínez, 2021).

El aceite de higuera o de ricino se destaca y atrae interés en la industria química, porque puede emplearse como materia prima para producir productos químicos o fuentes de energía, debido a que su semilla presenta una gran cantidad de aceite vegetal que va entre 40 % y 50 % en peso y que se caracteriza por su alto contenido de ácido ricinoleico, el mismo que se encuentra compuesto por un 85 % y 90 % del total de los ácidos grasos del aceite (Origilia et

al., 2019). El aceite de higuera es químicamente diferente a otros aceites por poseer en su composición ácido ricinoleico, el cual presenta en su estructura un doble enlace y un grupo hidroxilo. Su gran viscosidad y polaridad lo hace una materia prima valiosa para la producción en la industria de los plásticos, cosméticos, recubrimientos, etc. (Da Costa et al., 2010).

Actualmente, en nuestro país la higuera es considerada como una maleza, debido a que esta planta tiene la particularidad de desarrollarse en suelos donde la producción de cultivos se puede ver afectada sin la necesidad de condiciones especiales, lo que hace que su costo sea significativamente bajo y se lo puede obtener fácilmente sin invertir mucho en recursos económicos (Díaz y Vaca, 2017). En el Ecuador se ha evaluado el uso de aceite de higuera como una alternativa para la producción de biocombustibles mediante el empleo de reacciones de transesterificación en medio básico. Estas reacciones consisten en que los triglicéridos principales y componentes de los aceites vegetales o grasas de animales reaccionan con un alcohol de cadena

corta en presencia de un catalizador generando alquil ésteres (Paucar, 2020). Mas no se ha presentado en la literatura el uso de aceite de higuierilla en reacciones de epoxidación.

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo la epoxidación del aceite de higuierilla de la variedad Portoviejo-67 de la provincia de Manabí-Ecuador por medio de la reacción de Prileschajew estableciendo las condiciones de reacción adecuadas para la formación de epóxidos

estables, para posteriormente realizar los respectivos análisis fisicoquímicos mediante los ensayos ASTM, INEN, EN, NTC y comparar los resultados con las respectivas especificaciones ASTM y DIN ISO 51605: 2010-09 en el laboratorio de química de la Universidad Técnica de Manabí, de esta manera, se definirá si el producto obtenido es viable para diferentes aplicaciones como la obtención de biolubricantes, plastificantes y entre otros usos industriales.

MATERIALES Y MÉTODOS

La epoxidación de aceite de higuierilla se realizó por medio de la reacción de Prileschajew usando como catalizador ácido sulfúrico concentrado, tomando en cuenta el control de la temperatura, carga inicial de los reactivos y agitación para la formación de epóxidos estables. Posteriormente se realizaron los diferentes

análisis por medio de las técnicas descritas en las normas ASTM D-445, ASTM D-5558, ASTM D-1217, INEN 39, EN 14111, NTC 2366 comparando los resultados con las especificaciones ASTM y DIN ISO 51605: 2010-09. Las diferentes etapas del proceso se muestran en la Figura 1.

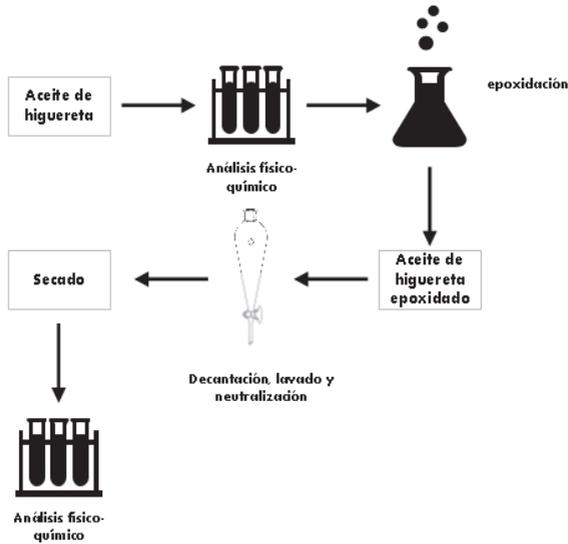


Figura 1. Diagrama de flujo de las diferentes etapas del proceso

Epoxidación del aceite vegetal de higuierilla (*Ricinus communis*)

Para el proceso de epoxidación se usó aceite vegetal de higuierilla de la variedad PORTOVIEJO-67, el cual fue suministrado por la Estación Experimental Portoviejo del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), ácido fórmico (85 % v/v), peróxido de hidrogeno (30 % v/v) y ácido sulfúrico concentrado. Respecto al montaje de la experimentación se procedió a usar la metodología descrita por García (2011) para epoxidación estable de aceites

insaturados, en el cual se usó como muestra inicial 50 g de aceite y relaciones molares 3:2,2:1 y 0,5:1,5:1 de mol de peróxido de hidrogeno, mol de ácido fórmico y mol de insaturación correspondientemente, añadiendo al primer ensayo 47,48 mL de peróxido de hidrógeno y 19,76 mL de ácido fórmico, para el ensayo posterior se añadió 7,9 mL de peróxido de hidrógeno y 13,47 mL de ácido fórmico usando en ambas experimentaciones 0,5 mL de ácido sulfúrico como catalizador. La reacción se efectuó en un tiempo de 4,5 horas a diferentes temperaturas de 65 °C,

70 °C, 75 °C y 80 °C con una agitación constante a 400 rpm. Transcurrido el tiempo de reacción se depositó la muestra en un embudo de decantación y se dejó reposar por 24 h para separar la fase oleosa de la acuosa posteriormente se realizó al aceite varios lavados con una solución de bicarbonato de sodio al 7 % y agua destilada para neutralizar los ácidos presentes y eliminar las sales formadas. Finalmente, se llevó la muestra al desecador a por 1 h para retirar el agua en exceso producto de los anteriores lavados.

Las cantidades iniciales de los reactivos se calcularon por medio del índice de yodo del aceite crudo para obtener la cantidad de moles de insaturación (Ec.1), debido a que las relaciones molares de los reactantes dependen de la cantidad de las insaturaciones.

$$mol_{ins.} = \frac{(IY)(P)}{(2)(M_I)(100)} \quad (1)$$

Donde $mol_{ins.}$ es mol de insaturación, IY índice de yodo del aceite crudo, P peso de la muestra y M_I peso molecular del yodo.

El porcentaje de conversión se determina a través de la desaparición de las insaturaciones usando el índice de yodo del aceite crudo y epoxidado (Ec. 2).

$$\%C_{ins.} = \frac{(IY_0)-(IY_f)}{(IY_0)} \times 100 \quad (2)$$

Donde IY_0 es el índice de yodo del aceite crudo y IY_f índice de yodo del aceite epoxidado.

Caracterización fisicoquímica del aceite crudo y epoxidado

En ambos aceites se logró estipular sus diferentes propiedades fisicoquímicas mediante distintos ensayos expresados en la Tabla 1.

Tabla 1. Normas de prueba estandarizadas para la caracterización de las propiedades fisicoquímicas

Propiedades	Unidad	Método
Índice de yodo	<i>g de I₂/100 g aceite</i>	EN 14111
Índice de acidez	<i>mg KOH / g aceite</i>	NTC 2366
Índice de saponificación	<i>mg KOH / g aceite</i>	ASTM D-5558
Densidad 15 °C	<i>kg / m³</i>	ASTM D-1217
Humedad	%	INEN 39
Viscosidad cinemática 40 °C	<i>mm² / s</i>	ASTM D-445

Las muestras se analizaron por medio de diferentes técnicas fisicoquímicas. El índice de yodo, índice de acidez e índice de saponificación se determinaron por técnicas de titulación. La densidad se midió por picnometría mediante el método ASTM D-1217.

El porcentaje de humedad se obtuvo mediante pérdida por calentamiento por el método INEN 39. La viscosidad cinemática se determinó por medio de un viscosímetro capilar de acuerdo con la norma ASTM D-445.

RESULTADOS

Epoxidación de aceite de higuera

En el proceso de epoxidación al utilizar 47,48 mL de peróxido de hidrógeno y 19,76 mL de ácido fórmico calculados con la relación molar 3:2,2:1 más 0,5 mL de ácido sulfúrico como catalizador y llevando a cabo el proceso a diferentes temperaturas de 70, 75 y 80 °C con una agitación constante de 400 rpm, se

mostraron en la prueba preliminar resultados desfavorables debido a que se presentaron cambios repentinos y bruscos en la temperatura a los pocos minutos de haber iniciado el proceso, haciendo difícil el control de la misma, además, se pudo notar la formación de espuma y una liberación considerable de gases. Otros efectos que se lograron notar fueron la desaparición de la fase acuosa y el cam-

bio de coloración que sufrió el aceite al tornarse de color blanco producto de las reacciones secundarias que se

presentan en el anillo oxirano que son ilustradas en la Figura 2.

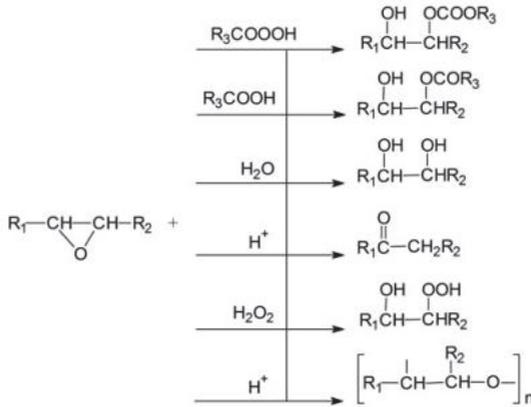


Figura 2. Reacciones secundarias en el proceso de epoxidación

(Milchert et al., 2016)

Debido a los resultados anteriores se optó por cambiar la cantidad estequiométrica de los reactivos a una relación molar de 0,5:1,5:1 añadiendo 7,9 mL de peróxido de hidrogeno y 13,47 mL de ácido fórmico manteniendo los 0,5 mL de ácido sulfúrico como catalizador y reducir la temperatura de operación a 65 °C para minimizar el efecto de la temperatura y el exceso de los reactivos manteniendo la misma agitación en un tiempo de 4,5 h. Afortunadamente al

final de la reacción no se observaron cambios en la apariencia del aceite y se mantuvo la coloración amarilla que caracteriza al epóxido, dada la situación se procedió a evaluar cuantitativamente el aceite por medio del índice de yodo del epóxido y del aceite crudo para determinar el porcentaje de conversión dando como resultado una conversión de 81,34 % de los dobles enlaces según la ecuación 2.

Caracterización fisicoquímica

El aceite crudo y el epoxidado presentaron diferencias significativas en

cada una de sus propiedades, las cuales son indicadas en la Tabla 2.

Tabla 2. Caracterización fisicoquímica del aceite higuera (Ricinus Communis) crudo y epoxidado

Propiedades	Resultados		Referencia	Unidad	
	Aceite crudo	Aceite epoxidado			
Índice de yodo	101,52	18,94	125 Máx.	g de $I_2/100 g$ aceite	Si cumple
Índice de Acidez	3,842	4,21	2 Máx.	mg KOH / g aceite	No cumple
Índice de Saponificación	169,37	179,83	184 Máx.	mg KOH / g aceite	Si cumple
Densidad a 15 °C	956,6	991,35	–	kg / m^3	–
Humedad	1,23	3,12	0,075 Máx.	%	No cumple
Viscosidad cinemática 40 °C	274,64	298,13	–	mm^2 / s	–

El valor obtenido de índice de yodo en el aceite crudo fue de $101,52 g$ de $I_2 / 100 g$ de aceite mientras el epoxidado fue de $18,94 g$ de $I_2 / 100 g$ de aceite; como se observa hubo una disminución de esta propiedad cuando el aceite crudo sufrió la modificación indicando la conversión parcial de las insaturaciones y la incorporación del anillo oxirano o grupo epoxi.

El índice de acidez para el epóxido resultó ser más elevado que aceite crudo con un valor de

$4,21 mg$ KOH / g aceite en comparación a $3,842 mg$ KOH / g aceite del aceite crudo. Algo similar ocurrió con el índice de saponificación del epóxido obteniendo un valor de $179,83 mg$ KOH / g aceite comparado con el aceite crudo con un valor de $169,52 mg$ KOH / g aceite.

La densidad del aceite de higuera crudo y epoxidado fue de $956,6 kg/m^3$ y $991,35 kg/m^3$ correspondientemente en el cual se puede evidenciar que existe un aumento de la densidad cuando el aceite crudo

presentó en su estructura química el grupo epoxi. Con respecto a los valores de humedad se reporta un valor de 1,23 % para el aceite crudo y 3,12 % para el epoxidado indicando un aumento de esta propiedad después de la epoxidación, los continuos lavados y el secado.

Por último, la viscosidad cinemática también presentó un cambio significativo en su valor cuando el aceite crudo fue epoxidado resaltando que la incorporación del grupo epoxi infliere en el aumento de esta propiedad cuando el aceite crudo pasó de 274,64 mm²/s a 298,13 mm²/s.

DISCUSIÓN

Reacción de epoxidación

En general en el proceso se trabaja con un rango de temperatura que varía entre 50 y 80 °C para la formación de epóxidos, sin embargo, la naturaleza exotérmica de la reacción hace complicado el control de la temperatura y con el incremento de la misma, el exceso de peróxido de hidrógeno, la formación de agua y el carácter ácido del catalizador da como resultado la apertura del anillo oxirano ocasionando una serie de reacciones secundarias (Ramírez, 2020).

La presencia de estas reacciones en la preparación comercial de epóxidos reduce su atractivo como materia prima para producir otros productos más complejos requiriendo eventualmente procesos de purificación lo

cual incrementaría el costo de producción (Nieto, 2019).

Por tales motivos, en los ensayos preliminares a 70 °C, 75 °C y 80 °C, usando la relación molar 3:2,2:1 no se llegó al resultado esperado consecuencia de las cargas iniciales de los reactivos y las temperaturas relativamente elevadas ocasionando que se originen reacciones no deseadas, desprendimiento de gases fuertes y aumento repentino de la temperatura.

Además, el producto resultante presentó una apariencia semisólida y blanquecina contraria a la apariencia del epóxido que se caracteriza por ser amarillento y presentarse en estado líquido (Sudha et al., 2017), dado los acontecimientos se optó por reducir la temperatura y las cantidades de los reactivos.

Respecto a la epoxidación estable, el porcentaje de conversión es comparable a la metodología expuesta por García (2011) donde se obtuvo un valor aproximado de 80 % para la formación de epóxidos estables.

De acuerdo con el resultado obtenido, se considera que el proceso tiene las condiciones óptimas para obtener epóxidos de aceite de higuierilla con un alto rendimiento (80-95 %), lo cual amerita la aplicabilidad para la obtención de productos funcionales que tengan un valor agregado (Hernández, 2020). Como por ejemplo en la producción de bases de aceites biolubricantes por medio de la sustitución de grupos epoxi en las insaturaciones del aceite de higuierilla ofreciendo una alta estabilidad termooxidativa, buena lubricidad y mayor punto de fluidez comparada con los aceites lubricantes convencionales, permitiéndole ser un potencial reemplazo para los aceites hidráulicos a base de aceites minerales (Borugadda y Goud, 2014).

Además, la alta reactividad del grupo epoxi permite la formación de varias reacciones que en consecuencia da origen a productos industriales como

poliuretanos, poliésteres, glicoles, resinas epoxi y alcoholes (Sinadinović et al., 2012).

Propiedades fisicoquímicas

Índice de yodo

El índice de yodo indica el nivel de insaturación de grasas o aceites y se expresa en gramos de yodo. Un valor alto indica un nivel de insaturación elevada mientras que un valor bajo presenta escasas de insaturaciones (Yeboah et al., 2020). El valor obtenido de índice de yodo en el aceite crudo de higuierilla fue considerablemente alto, aunque se ha llegado a reportar un valor de $287 \text{ gr de } I_2/100 \text{ g de aceite}$ en una variedad oriunda de Nigeria (Zaku et al., 2012). Aquellos valores sobrepasan el promedio que están entre $82 \text{ y } 90 \text{ gr de } I_2/100 \text{ g de aceite}$ para este tipo de aceite, por lo tanto, valores altos de índice de yodo representaría que el aceite esté más propenso a la oxidación y degradación (Lombeida, 2015).

El aceite de higuierilla epoxidado presentó una disminución de esta propiedad indicando que hubo una conversión parcial de los enlaces dobles a grupos epoxi. Dado que el

aceite tiene un valor menor a 100 se considera un aceite no secante lo que significaría que el epóxido de higuerrilla sea útil para lubricantes y frenos hidráulicos, además, la presencia del anillo oxirano ofrece una mayor estabilidad térmica en comparación con otros aceites lubricantes comerciales a base de aceite mineral (Borugadda y Goud, 2015). Debido a los valores expuestos en ambos aceites, se considera que cumplen con la especificación DIN ISO 51605: 2010-09 al ser menores a $125 \text{ gr de } I_2/100 \text{ g de aceite}$; por lo tanto, de acuerdo con esta propiedad, amerita su uso como materia prima en diferentes procesos.

Índice de acidez

El índice de acidez representa la concentración de ácidos grasos libres y es expresado en mg KOH/g aceite , cuyo valor es uno de los principales indicadores de calidad de los aceites (Yeboah et al., 2020). Según lo reportado en la literatura los valores de acidez para el aceite de higuerrilla oscilan entre los $0,14$ y $1,97 \text{ mg KOH/g aceite}$ (Panhwar et al. 2016), aunque se han notificado valores de alrededor de $15 \text{ mg KOH/g aceite}$ de aceite en semillas sembradas en Nigeria (Omohu y Omale, 2017). En nuestra investiga-

ción se determinó un valor de índice de acidez de $3,842 \text{ mg KOH/g aceite}$ sobrepasando el promedio de acidez del aceite crudo.

Dichas oscilaciones en los valores de acidez en el aceite se deben principalmente al contenido de ácidos grasos libres los cuales son otorgados por el tipo de cultivo, así como el origen geográfico que se encuentra vinculado con los factores climáticos y ambientales (Yusuf et al., 2015), además, de la exposición del aceite al agua y al ambiente que ocasionan una serie de reacciones que disminuye la calidad del aceite (Rivera et al., 2014). En lo que respecta al aceite epoxidado presentó un aumento de acidez con valor de $4,21 \text{ mg KOH/g aceite}$ consecuencia de la acidez inicial aportada por el aceite crudo y las pequeñas trazas de ácido sulfúrico y ácido fórmico que no se eliminaron en el lavado. Este valor es muy importante a tomar en cuenta en aceites base para la formulación de lubricantes. Una alta acidez significa que el aceite es propenso a oxidarse con más facilidad lo que conduce a la formación de gomas y lodos acompañada de la corrosión (Ramírez, 2014). De acuerdo con las especificaciones

de la Sociedad Estadounidense de Pruebas y Material (ASTM) la acidez no puede sobrepasar los $2 \text{ mg KOH/g aceite}$ (Yusuf et al., 2015). Comparando los resultados del aceite crudo y epoxidado estos sobrepasan el rango máximo establecido y por lo tanto no cumple la especificación.

Índice de saponificación

El índice de saponificación es la cantidad de miligramos KOH que se necesita para neutralizar los ácidos grasos en un gramo de grasa (Arriola y Monjaras, 2003). Para el aceite de higuera los valores de saponificación están entre valores de 165,5 y $187 \text{ mg KOH/g aceite}$ (Omari et al., 2015). Al realizar tres pruebas, el valor que se determinó en nuestra investigación es similar al reportado por Paul et al. (2021) con un índice de saponificación de $168,52 \text{ mg KOH/g aceite}$ y en lo que respecta al valor del aceite epoxidado se asemeja al reportado por Yeadon et al. (1959) con un valor aproximado de $181 \text{ mg KOH/g aceite}$. Tomando en cuenta los valores de saponificación, se observa que el valor del aceite epoxidado es mayor que el aceite crudo resultado del grupo epoxi presente en la estructura molecular en los triglicéridos del

aceite, ocasionando un aumento del peso molecular y por ende el valor del índice de saponificación (Obanla et al., 2021). Considerando los estándares ASTM el índice de saponificación máximo para aceites vegetales es de $184 \text{ mg KOH/g aceite}$, dado los resultados se considera que los valores de ambos aceites están dentro de la especificación siendo aceites de saponificación baja al poseer un valor menor a $180 \text{ mg KOH/g aceite}$ (Ramírez, 2014).

Densidad

La densidad del aceite de higuera crudo concuerda con lo reportado por Atamari y Anco (2015) cuya densidad fluctúa entre $955\text{--}968 \text{ kg/m}^3$. Como se pudo evidenciar existe un aumento de la densidad respecto al aceite epoxidado en comparación del aceite normal, dicho aumento se debe a la incorporación del anillo oxirano en la estructura de los triglicéridos del aceite, este anillo que tiene en su estructura un átomo de oxígeno provoca un aumento de las fuerzas intermoleculares tipo dipolo-dipolo induciendo al incremento de esta propiedad (Ríos et al., 2019). Algo similar reportó Sudha et al. (2017) en la epoxidación parcial

(96,88 %) de aceite de higuierilla, se determinó que la densidad del aceite modificado mostraba un valor de 1020 kg/m^3 en comparación a 930 kg/m^3 que presentaba el aceite antes de la modificación.

Humedad

Respecto a los valores de humedad, se reporta un valor relativamente alto para el aceite crudo con un contenido de humedad de 1,23 %. En otras investigaciones relacionadas incluso se ha determinado valores de humedad de 4,1 % y 5,9 % en dos variedades nativas de la región de Hidalgo-México (Cornejo y Estrada, 2012). Dichos valores se deben a la desventaja del aceite al poseer una alta higroscopicidad lo que ocasiona un alto contenido de humedad y por ende ocasiona problemas de filtración y corrosión, además de complicaciones en reacciones de interés como la transesterificación reduciendo la conversión de los esteres metílicos y fomentando la formación de espuma y jabón (Sánchez y Huertas, 2012). El valor reportado para el aceite epoxidado fue de 3,12 %, dicho valor es concedido por la humedad del aceite crudo, el contenido de agua de los reactivos empleados en la epoxidación

y por los continuos lavados que se realizaron. La especificación DIN ISO 51605: 2010-09 define que el valor máximo de humedad es de 0,075 % en peso, por lo tanto el valor de la humedad del aceite crudo es considerablemente alto, al igual que el aceite epoxidado, pese a ser sometido a un tratamiento previo para eliminar su humedad en una estufa de secado a $103 \text{ }^\circ\text{C}$ por una hora, de esta manera ambos aceites no cumplen con la especificación establecida. Se puede eliminar la humedad empleándose otras alternativas como los métodos de destilación al vacío a bajas temperaturas o por centrifugación para evitar degradación del aceite por acción de las altas temperaturas (Morales et al. 2008).

Viscosidad

La viscosidad del aceite de higuierilla es mucho mayor que los demás aceites comestibles tales como el de palma, girasol, colza, soya, los cuales se usan para producción de biodiesel y mantienen valores entre 37,8 cp y 50 cp (Montoya, 2009). En referencia a nuestro trabajo experimental, el aceite de higuierilla reporta un valor similar al de Obanla et al. (2021) con una viscosidad de $281,8 \text{ mm}^2/\text{s}$ para

aceite de higuera a 40 °C. La viscosidad alta del aceite se debe a la predominante presencia del ácido ricinoleico y la manifestación del grupo hidroxilo en el carbono 12. La desventaja que muestra este aceite es que entre más baja la temperatura más alta es la viscosidad, siendo una causa principal de problemas en la extracción del aceite e inyección cuando el producto está destinado a la producción de biocombustibles (Díaz, 2019). Pero también su viscosidad hace que este aceite sea valioso para la producción industrial de recubrimientos, plásticos y cosméticos (Origlia et al., 2019). En cuanto al aceite de higuera epoxidado se

determinó un valor cercano al reportado por Borugadda y Goud (2015), quien manifiesta que el aumento de la viscosidad se debe a la adición de moléculas de oxígeno en medio de la insaturación provocando un aumento de fuerzas intermoleculares, polaridad y peso molecular. Con base en la viscosidad se puede definir el grado ISO del aceite epoxidado por medio de la especificación ASTM D-242 siendo grado ISO VG 320 el cual es aplicable como aceite lubricante de engranajes industriales (Hernández, 2017) y con la incorporación de aditivos ofrece propiedades antioxidantes, antidesgaste, extrema presión, entre otros (Villafuerte, 2019).

CONCLUSIÓN

En esta investigación se determinó que los aceites crudo y modificado de higuera cumple con la mayoría de las especificaciones, a excepción del índice de acidez y contenido de humedad, los cuales se encuentran fuera de los límites establecidos representando un problema en la calidad de los productos que se derivan de ambos aceites y el costo adicional de los tratamientos previos para su uso. Por otra parte, después de las pruebas

preliminares se tuvo éxito en la reacción de epoxidación mediante la metodología expuesta para epóxidos estables logrando una conversión 81,34 % de los dobles enlaces a grupos epoxi indicando un alto rendimiento, siendo determinante el control de la temperatura, las cantidades iniciales de los reactivos y velocidad agitación en el proceso. Dada la alta conversión el epóxido es factible para obtener varios productos de valor

agregado especialmente para bases de aceites lubricantes por su alta lubricidad y estabilidad termoxidativa clasificando a este aceite por su viscosidad tipo ISO VG 320 ideal para engranajes industriales. En futuras investigaciones se debe considerar un

estudio más enfocado en procesos de producción a mayor escala y la factibilidad técnica y económica que conlleva, además de un análisis más detallado y exhaustivo referente a la formación de reacciones secundarias.

AGRADECIMIENTO

Se agradece a la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí y

al laboratorio de Análisis Químico de la facultad de la respectiva universidad.

LISTA DE REFERENCIAS

- Arriola, G., y Monjaras, M. (2003). *Comprobación de pureza de los aceites comestibles diferentes marcas comerciales en el área metropolitana (Tesis de grado)*. Universidad Del Salvador, El salvador.
- Atamari, G., y Anco, M. (2015). *Obtención del poliéster de ricino a partir del aceite de ricino y ácido ricinoleico, determinando su rendimiento óptimo para su aplicación en el champu de aloe vera* (Tesis de grado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.
- Borugadda, V., y Goud, V. (2014). Epoxidation of castor oil fatty acid methyl esters (CO-FAME) as a lubricant base stock using heterogeneous ion-exchange resin (IR-120) as a catalyst. *Science Direct*, (54), 75-84. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610214011266>
- Borugadda, V., y Goud, V. (2015). In-Situ epoxidation of castor oil using heterogeneous acidic ion-exchange Resin Catalyst (IR-120) for Bio-Lubricant Application. *Tribology Online*, 5(10), 354-359. https://www.jstage.jst.go.jp/article/trol/10/5/10_354/_pdf/-char/ja

- Cornejo, M., y Estrada, O. (2012). *Caracterización de aceite de higuierilla (Ricinus communis) de dos variedades silvestres para la producción de biodiesel en la región del Valle de Mezquital, Hidalgo* (Tesis de maestría). Centro de investigación en materiales avanzados, S. C., Chihuahua.
- Cruz, K., Montañez, J.C., Aguilar, C.N., Sáenz, G., Gámez, I.A., y Flores, E. (2015). Obtención de aceite epoxidado de semilla de algodón utilizando un ácido débil. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 4(6), 11-18. <https://www.redalyc.org/pdf/3236/323643356002.pdf>
- Da Costa, D., Serra, T., Plentz, S., y Meneghtetti, M. (2010). Biodiesel production by ethanolysis of mixed castor and soybean oils. *Fuel*, 12(89), 3791-3794. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0016236110003637?token=6DF067C7F307A64E2CE0D88C47D951C62D7B224803AD5EA8EDD038E0CF20CCD44E2FA40FDEAE12EB78686CE921668198&originRegion=us-east-1&originCreation=20220525041512>
- Díaz, A., y Vaca, J. (2017). *Diseño y construcción de un reactor piloto para la producción de biodiesel a base de aceite de higuierilla*. (Tesis de grado) Universidad técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Díaz, P. (2019). *Optimización de la extracción acuosa enzimática de aceite de semillas de Ricinus communis* (Tesis de grado). Tecnológico nacional de México, Tuxtla, Chiapas.
- García, A. (2011). *Diseño, selección y producción de nuevos biolubricantes* (Tesis doctoral). Universidad Ramon Llull, Barcelona.
- Hernández, E. (2017). *Diseño de un multiplicador de velocidad de relación de transmisión 6 para el acople a una fresadora cnc* (Tesis de grado). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
- Hernández, M. (2020). *Desarrollo Biotecnológico de biolubricantes a partir de grasa de pollo* (Tesis doctoral). Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

- Lämsä, L., y Kosonen, K. (2016). Proceso de epoxidación de aceites vegetales (España). Patent No:2 580 962).
- Lombeida, N. (2015). *Diseño de un reactor tipo batch para la obtención de biodiesel a partir de aceite de ricino (Ricinus communis)* (Tesis de grado). Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Martínez, D.C. (2021). *Reacciones de epoxidación de aceite de soja catalizadas por un sólido de dioxomolibdeno (VI) tipo MOF*. (Tesis de grado-maestría) Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Milchert, E., Malarczyk, K., y Musik, M. (2016). Technological aspects of vegetable oils epoxidation in the presence of ion exchange resins: a review. *Polish Journal of Chemical Technology*, 3(18), 128-133. <https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-d25ea1c-d063-4363-a7ed-432bae02e9ec>
- Montoya, J. (2009). *Modelamiento y simulación de la cinética de transesterificación del aceite de ricino con alcohol etílico, catalizada con NaOH* (Tesis de maestría). Universidad nacional de Colombia sede de Medellín, Medellín, Colombia.
- Morales, W., Dagnino, E., Sequeira, A., Díaz, A., y Chamorro, E. (2008). Tratamiento de aceite crudo de algodón para transesterificación alcalina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 1(12), 95-98. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/94611>
- Nieto, J. (2019). *Estudio de la reacción de carbonatación del aceite de linaza epoxidado* (Tesis de maestría). Universidad autónoma del Estado de México, Toluca, Estado de México.
- Obanla, O., Mohammed, F., Alebiosu, O., Ojewumi, M., Oladimeji, T., y Babatunde, D. (2021). Study on the lubricating properties of castor (*Ricinus communis*) and hydroxylated Rubber (*Hevea brasiliensis*) seed oil. *ACS Omega*, 43(6), 28471-28476. <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acsomega.0c05810>
- Omari, A., Mgani, Q., y Mubofu, E. (2015). Fatty acid profile and Physico-chemical parameters of castor oils in Tanzania. *Green and Sustainable Chemistry*, 4(5), 10. https://www.scirp.org/html/3-5500205_61169.htm

- Omohu, O., y Omale, A. (2017). Physicochemical Properties and Fatty Acid Composition of Castor Bean *Ricinus communis* L. Seed Oil. *European Journal of Biophysics*, 4(5), 62-65. <https://www.sciencepublishinggroup.com/journal/paperinfo?journalid=117&doi=10.11648/j.ejb.20170504.11>
- Origlia, E., Casuscelli, S., y Cánepa, A.L. (2019). Synthesis of materials as catalysts in the epoxidation of FAME's obtained from castor oil. *Conicet*, 71-75.
- Panhwar, T., Ahmed, S., Waheed, A., Ahmed, A., Naz, F., Hussain, Z., Sattar, A., y Hus-sain, S. (2016). Characteristics and composition of a High oil Yielding Castor Vari-ety from Pakistan. *Jos of Oleo Science*, 65(6), 471-476. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jos/65/6/65_ess15208/_pdf/-char/ja
- Paucar, M. (2020). *Evaluación del rendimiento de aceite de higuierilla (Ricinus communis L.) en zonas óptimas y no óptimas de Imbabura para obtener biodiesel B5* (Tesis de grado). Universidad técnica del norte, Ibarra, Ecuador.
- Paul, A., Borugadda, V., Reshad, A., Bhalerao, M., Tiwari, P., y Goud, V. (2021). Com-parative study of physicochemical and rheological property of waste cooking oil, castor oil, rubber seed oil, their methyl ester and blends with mineral diesel fuel. *Materials Science for Energy Technologies*, (4), 148-155. <https://www.sciencedi-rect.com/science/article/pii/S2589299121000136>
- Ramírez, A. (2014). *Estudio experimental de las propiedades fisicoquímicas y tribológicas de un biolubricante formulado a partir de aceite de higuierilla* (Tesis de grado). Universidad Veracruz, Xalapa Enríquez.
- Ramírez, L. (2020). *Modelo cinético para la reacción de epoxidación de aceite vegetal usado* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Ríos, Í., Cordeiro, J., Arruda, T., Rodrigues, F., Uchoa, A., Luna, F., Jr, L., y Ricardo, N. (2019). Chemical modification of castor oil fatty acids (*Ricinus communis*) for bi-olubricant applications: An alternative for Brazils green market. *Industrial Crops and Products*, (145). <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669019310106>

- Rivera, Y., Gutiérrez, C., Gómez, R., Matute, M., y Izaguirre, C. (2014). Cuantificación del deterioro de aceites vegetales usados en procesos de frituras en establecimientos ubicados en el Municipio Libertador del Estado Mérida Ciencia e Ingeniería. *Revista Ciencia e Ingeniería*, 3(35), 157-164. <https://www.redalyc.org/pdf/5075/507550626005.pdf>
- Sánchez, I., y 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* (Tesis de grado). Universidad tecnológica de Pereira, Pereira.
- Sinadinovic, S., Jankovic, M., y Borota, O. (2012). Epoxidation of castor oil with peracetic acid formed *in situ* in the presence of an ion Exchange resin. *Chemical Engineering and Processing*, (62), 106-113. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S025527011200164X>
- Sudha, G., Kalita, H., Mohanty, S., y Nayak, S. (2017). Biobased epoxy blends from epoxidized castor oil: effect on mechanical, thermal, and morphological properties. *Macromol Research*, 25(5), 420-430. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13233-017-5063-3>
- Villafuerte, J. (2019). *Selección de lubricantes según la función de componentes mecánicos* (Tesis de bachiller). Universidad Continental, Arequipa, Perú.
- Yeboah, A., Ying, S., Lu, J., Xie, Y., Amoanimaa-Dede, H., Boateng, K., Chen, M., y Yin, X. (2020). Castor oil (*Ricinus communis*): a review on the chemical composition and physicochemical properties. *Food Science and Technology*, 41(2), 399-413. <https://www.scielo.br/j/cta/a/jtzR5bpyvr9Fm6WYDrRqt7t/?lang=en&format=html>
- Yeadon, D., McSherry, W., y Goldblatt, L. (1959). Preparations and properties of castor oil Urethane Foams. *Journal of the American Oil Chemists'*, 1(36), 16-20. <https://aocs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1007/BF02540259>
- Yusuf, A., Mamza, P., Ahmed, A., y Agunwa, U. (2015). Extraction and characterization of castor seed oil from wild *Ricinus communis* linn. *International Journal of Science, Environment and Technology*, 5(4), 1392-1404. https://www.researchgate.net/profile/A-Yusuf/publication/282641536_EXTRACTION_AND_CHARACTERIZA

TION_OF_CASTOR_SEED_OIL_FROM_WILD_RICINUS_COMMUNIS_LINN/link
s/5614c96408ae4ce3cc63fdea/EXTRACTION-AND-CHARACTERIZATION-OF-
CASTOR-SEED-OIL-FROM-WILD-RICINUS-COMMU

Zaku, S. G., Emmanuel, S. A., Isa, A. H., & Kabir, A. (2012). Comparative studies on the functional properties of neem, jatropha, castor, and moringa seeds oil as potential feed stocks for biodiesel production in Nigeria. *Global Journal of Science Frontier Research Chemistry*, 12(7), 23-26.