



## EPOXIDACIÓN DEL ACEITE VEGETAL DE *JATROPHA CURCAS* L. CON ÁCIDO FÓRMICO, DE LA PROVINCIA DE MANABÍ, ECUADOR

Víctor Joseph García Chávez<sup>1\*</sup>, Judith Rosalía Mendoza Vera<sup>2\*</sup>, Segundo Alcides García Muentes<sup>3</sup>, Gabriel Alfonso Burgos Briones<sup>4</sup>, Gonzalo Oswaldo García Vincés<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Egresado de la Carrera de Ingeniería Química, Universidad Técnica de Manabí. Ecuador. E-mail: [vgarcia6191@utm.edu.ec](mailto:vgarcia6191@utm.edu.ec)

<sup>2</sup>Egresada de la Carrera de Ingeniería Química, Universidad Técnica de Manabí. E-mail: [jmendoza6748@utm.edu.ec](mailto:jmendoza6748@utm.edu.ec)

<sup>3</sup>Doctor en Química y Farmacia, Docente Titular de la Carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí. E-mail: [segundo.garcia@utm.edu.ec](mailto:segundo.garcia@utm.edu.ec)

<sup>4</sup>Ingeniero Químico, Máster en Sistemas Integrados de Gestión, Departamento de Procesos Químicos, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí. E-mail: [gabriel.burgos@utm.edu.ec](mailto:gabriel.burgos@utm.edu.ec)

<sup>5</sup>Analista de promoción y apoyo al ingreso de la universidad. Técnico de Laboratorio Químico. Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí. E-mail: [gonzalo.garcia@utm.edu.ec](mailto:gonzalo.garcia@utm.edu.ec)

\*Autor para la correspondencia: [vgarcia6191@utm.edu.ec](mailto:vgarcia6191@utm.edu.ec), [jmendoza6748@utm.edu.ec](mailto:jmendoza6748@utm.edu.ec)

Recibido: 28-10-2021 / Aceptado: 15-12-2021 / Publicación: 31-12-2021

Editor Académico: Jorge Lopez

### RESUMEN

Una de las modificaciones químicas exitosas que mejora las propiedades físico-químicas de los aceites vegetales es la epoxidación, el aceite de *Jatropha* tiene potencial como materia prima para aplicaciones industriales porque es renovable y no comestible. La epoxidación fue realizada en aceite *Jatropha curcas* L. proveniente de la provincia de Manabí, Republica del Ecuador, mediante la reacción del ácido fórmico con peróxido de hidrógeno. Los parámetros del aceite crudo y epoxidado son determinados a través de las normas de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) para índice de acidez ASTM D-664, densidad ASTM D-1298, viscosidad dinámica y cinemática ASTM D-445, índice de saponificación ASTM D-94, contenido de humedad ASTM D-2709, Norma Europea (EN) para índice de yodo EN 14111, Organización Internacional de Estandarización (ISO) para índice de peróxido ISO 3960 y Sociedad Americana de Químicos del Aceite (AOCS) para porcentaje de acidez AOCS con el Método oficial Ca 5a-40, respectivamente. Los resultados presentan que el aceite de *Jatropha curcas* L. epoxidado posee menor índice de yodo (27,48 g I<sub>2</sub>/g grasa) e índice de peróxido (158,28 mEq O/Kg grasa), mayor índice de acidez (34,92 mg KOH/g aceite), acidez (17,55 %), densidad (1,01 ± 0,01 g/cm<sup>3</sup>), viscosidad dinámica y cinemática a 100 y 40 °C entre otras propiedades. Del análisis se concluye que este es un método efectivo para conseguir que las propiedades del aceite de *Jatropha curcas* L. mejoren y demuestran la capacidad de utilidad del aceite de *Jatropha curcas* L. epoxidado para la formulación de grasas lubricantes biodegradables.

**Palabras clave:** epoxidación, aceite vegetal, lubricantes, *Jatropha curcas* L.

## EPOXIDATION OF VEGETABLE OIL FROM *JATROPHA CURCAS* L. WITH FORMIC ACID, FROM THE PROVINCE OF MANABÍ, ECUADOR

### ABSTRACT

One of the successful chemical modifications that improves the physico-chemical properties of vegetable oils is epoxidation, *Jatropha* oil has potential as a raw material for industrial applications because it is renewable and inedible. The epoxidation was carried out in *Jatropha curcas* L. oil from the province of Manabí, Republic of Ecuador, through the reaction of formic acid with hydrogen peroxide. The parameters of the crude and epoxidized oil are determined through the standards of the American Society for Tests and Materials (ASTM) for acid number ASTM D-664, density ASTM D-1298, Dynamic and kinematic viscosity ASTM D-445, Saponification index ASTM D-94, Moisture content ASTM D-2709, European Standard (EN) for iodine number EN 14111, International Organization for Standardization (ISO) for peroxide number ISO 3960 and American Society of Oil Chemists (AOCS) for Percentage of Acidity AOCS with the official Method Ca 5a-40, respectively. The results show that the epoxidized *Jatropha curcas* L. oil has a lower iodine value (27.48 g I<sub>2</sub> / g fat) and peroxide value (158.28 mEq O / Kg fat), and a higher acidity index (34.92 mg KOH / g oil), acidity (17.55%), density (1.01 ± 0.01 g / cm<sup>3</sup>), dynamic and kinematic viscosity at 100 and 40 °C among other properties. From the analysis it is concluded that this is an effective method to improve the properties of *Jatropha curcas* L. oil and demonstrates the usefulness of epoxidized *Jatropha curcas* L. oil for the formulation of biodegradable lubricating greases

**Keywords:** epoxidation, vegetable oil, lubricants, *Jatropha curcas* L.

## EPOXIDAÇÃO DO ÓLEO VEGETAL DE *JATROPHA CURCAS* L. COM ÁCIDO FÓRMICO, DA PROVÍNCIA DE MANABÍ, EQUADOR

### RESUMO

Uma das modificações químicas bem-sucedidas que melhoram as propriedades físico-químicas dos óleos vegetais é a epoxidação. O óleo de *Jatropha* tem potencial como matéria-prima para aplicações industriais por ser renovável e não comestível. A epoxidação foi realizada em óleo de *Jatropha curcas* L. da província de Manabí, República do Equador, por meio da reação de ácido fórmico com peróxido de hidrogênio. Os parâmetros do óleo bruto e epoxidado são determinados por meio das normas da Sociedade Americana. Testes e materiais (ASTM) para número de ácido ASTM D-664, densidade ASTM D-1298, viscosidade dinâmica e cinemática ASTM D-445, índice de saponificação ASTM D-94, teor de umidade ASTM D-2709, padrão europeu (EM) para índice de iodo EN 14111, Organização Internacional de Padronização (ISSO) para peróxido número ISO 3960 e Sociedade Americana de Químicos de Óleo (AOCS) para porcentagem de acidez AOCS com o método oficial Ca 5a-40, respectivamente. Os resultados mostram que o óleo de *Jatropha curcas* L. epoxidado tem um valor de iodo inferior (27,48 g I<sub>2</sub> / g de gordura) e valor de peróxido (158,28 mEq O / Kg de gordura), e um índice de acidez superior (34,92 mg KOH / g de óleo), acidez (17,55%), densidade (1,01 ± 0,01 g / cm<sup>3</sup>), viscosidade dinâmica e cinemática a 100 e 40°C entre outras propriedades. A partir da análise, conclui-se que este é um método eficaz para melhorar as propriedades do óleo de *Jatropha curcas* L. e demonstrar a utilidade do óleo epoxidado de *Jatropha curcas* L. para a formulação de graxas lubrificantes biodegradáveis.

**Palavras-chave:** Epoxidação, azeite vegetal, lubrificantes, *Jatropha curcas* L.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la búsqueda de una química sostenible, se concede una importancia considerable a las materias primas renovables que explotan las capacidades sintéticas de la naturaleza. Se sabe que las materias primas renovables son respetuosas con el ambiente, biodegradables y fácilmente disponibles (Adhvaryu & Erhan, 2012). El uso de estos recursos materiales en muchas aplicaciones ha atraído la atención de muchos investigadores debido a su potencial realizable como sustitutos de los derivados petroquímicos (Blayo, 2001). Los aceites vegetales y la grasa animal pertenecen a estos recursos renovables con muchas aplicaciones versátiles (Gruber, 1993; Petrovic et al., 2013).

Las fuertes preocupaciones ambientales y las crecientes regulaciones sobre contaminación y contaminación del ambiente por lubricantes a base de petróleo han aumentado la necesidad de lubricantes renovables y biodegradables (Fox & Shachowiak, 2007).

La idea de usar aceites vegetales data de la fecha tan lejana como 1853, donde E. y J. Patrick Duffy's tuvieron la idea de someter a los aceites vegetales a un proceso de transesterificación, que permitió a los científicos obtener una sustancia muy semejante a la que hoy se conoce como biodiesel (Salgueiro et al., 2014).

Antes de que el consumidor acepte los lubricantes a base de aceite vegetal, deben superar ciertas características de bajo rendimiento, como las inestabilidades térmicas y oxidativas (Adhvaryu & Erhan, 2012).

Los aceites vegetales más empleados en la industria como aceite base para la formulación de lubricantes, son aquellos que poseen un alto contenido de ácidos grasos monos insaturados (más del 80 %) (Sukirno et al., 2009) pues estos les confieren un equilibrio entre una adecuada estabilidad oxidativa y un buen comportamiento a bajas temperaturas; en el caso de los aceites vegetales que no poseen estas características deben modificarse químicamente (Erhan & Sharma, 2006)

Una de las modificaciones químicas más exitosas con vista a mejorar las propiedades de los aceites vegetales es la epoxidación, en la cual los dobles enlaces presentes en los ácidos grasos son remplazados por el oxígeno convirtiéndose en epóxidos (Heeres, 2006)

La planta *Jatropha curcas* L. se da en la provincia de Manabí, Republica del Ecuador, en esa zona se conoce como piñón o jatropa y se cultiva en terrenos marginales. Para su desarrollo requiere de un clima cálido, húmedo y con pocas precipitaciones, cuya temperatura ambiente oscile entre 20 y 30 °C, adecuado para su reproducción, siendo su principal función delimitar los potreros y fincas (García et al., 2018).

El piñón de *Jatropha curcas* L. es una *Euphorbiaceae*, especie vegetal nativa de América ecuatorial. Posee un gran potencial para la producción de bioqueroseno y biodiesel, logrando ser una alternativa frente a los derivados del petróleo, responsables de la contaminación ambiental (Cañarte et al., 2017).

El aceite de *Jatropha* tiene un potencial significativo como materia prima para aplicaciones industriales porque es renovable y no comestible. Los costos competitivos del aceite de *Jatropha* en comparación con otros aceites, como la soja (*Glycine max* (L.) Merr.) y la colza (*Brassica napus* L.) (Erhan, 2005), han atraído a industriales y académicos a investigar estos materiales.

El aceite vegetal de *Jatropha curcas* L. ha sido definido como un fuerte candidato para ser utilizado como aceite base en la formulación de lubricante (Mohd et al., 2009), sin embargo, por su composición química prevalecen los ácidos grasos con más de un doble enlace (polinsaturados), convirtiéndose en un aceite inestable a la oxidación (Rodríguez et al., 2012).

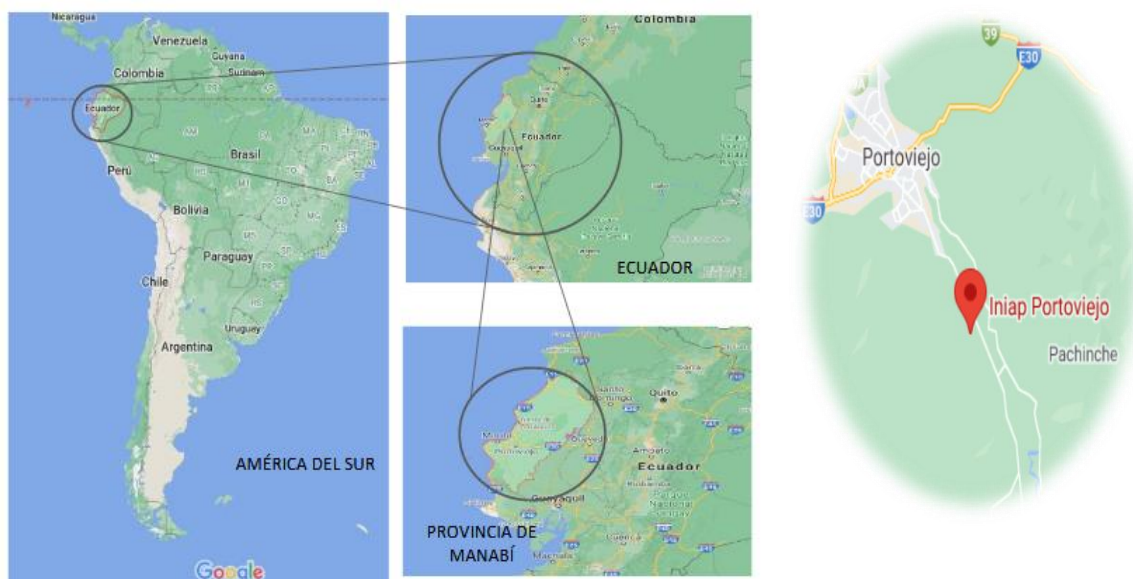
Existen ensayos realizados de epoxidación del aceite vegetal *Jatropha curcas* L. con ácido peracético donde se ha determinado la disminución en un 59,36 % del índice de yodo y, por tanto, una disminución del número de doble enlaces, así como su mejora significativa en la estabilidad oxidativa (Lafargue, 2015).

El presente estudio busca mejorar algunas de las propiedades físico-químicas del aceite vegetal de *jatropha curcas* L mediante la epoxidación con ácido fórmico, como preparación previa para la obtención de biodiesel o aceite base para la formulación de lubricantes. Los parámetros son determinados a través de las normas de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales “ASTM” para Índice de acidez ASTM D-664, Densidad ASTM D-1298, Viscosidad dinámica y cinemática ASTM D-445, Índice de saponificación ASTM D-94, Contenido de humedad ASTM D-2709, Norma Europea “EN” para Índice de yodo EN 14111, Organización Internacional de Estandarización “ISO” para Índice de peróxido ISO 3960 y Sociedad Americana de Químicos del Aceite “AOCS” para Porcentaje de Acidez AOCS con el Método oficial Ca 5a-40 respectivamente.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se realizó en el Laboratorio de Análisis Químicos de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí.

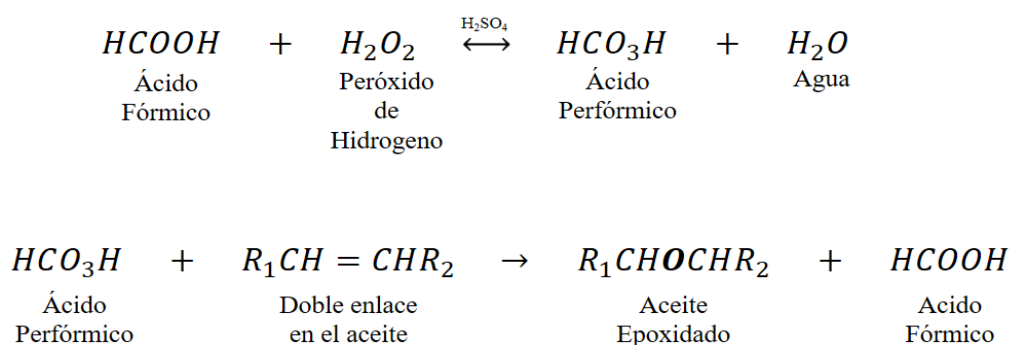
El aceite vegetal (*Jatropha curcas* L.) que se usó para la epoxidación, se obtuvo de la Estación Experimental Portoviejo del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias “INIAP” (Ponce et al., 2020), ubicada en el Km. 12 vía Santa Ana, Cantón Portoviejo, en la Provincia Manabí, (**Figura 1**) cosecha de junio 2019.



**Figura 1.** Ubicación del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias “INIAP”. Mapa obtenido de los datos de Google Maps 2021. Las coordenadas geográficas 01°14' de latitud Sur y 80°16' de longitud Occidental.

### 1.1. Epoxidación del aceite vegetal *Jatropha curcas* L

Según la literatura, en la industria de la química orgánica se dice que un epóxido es un radical formado por un átomo de oxígeno unido a dos átomos de carbono, que a su vez están unidos entre sí mediante un solo enlace covalente. (García, 2011). Los epóxidos se obtienen usualmente por el método de oxidación de Prileschajew, en el que las insaturaciones son convertidas en epóxidos mediante el uso de perácidos (**Figura 2**) (Prileschajew, 1909)



**Figura 2.** Ecuación de la formación de ácido perfórmico y reacción de epoxidación de un aceite vegetal catalizada por ácidos.

**Fuente:** Elaboración propia.

En este estudio se implementó la tecnología de epoxidación con ácidos percarboxílicos, que puede ser catalizada por ácidos o por enzimas, la misma resulta muy ecológica ya que se obtiene como subproductos solamente agua.



Para la experimentación, según lo descrito por (García, 2011) en el cual se establecen condiciones óptimas de reacción: se utilizó 100 gramos de aceite, 33 mililitros de ácido fórmico y 1,7 mililitros de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) (cambia de color amarillo a negro). Se adicionó 123 mililitros de peróxido de hidrógeno al 30 % a través de un embudo separador en 45 min (cambia de color negro hasta un amarillo parecido al aceite inicial). Se calentó hasta una temperatura de 75 °C y reaccionó por 4,5 horas (el color cambia de amarillo a blanco). Respectivamente se neutralizó hasta un pH = 5 añadiendo 6,6 mililitros de una disolución de hidróxido de sodio (NaOH), manteniendo la temperatura y agitación. Posteriormente se vertió en un embudo separador, dejó reposar hasta la separación de las fases y se decantó la fase acuosa. Finalmente se lavó la fase oleosa con una disolución saturada de bicarbonato de sodio ( $NaHCO_3$  al 7 %) hasta que no se observe desprendimiento de gas, después con agua destilada hasta obtener transparencia por la parte inferior del embudo. Se secó en la estufa durante 2 horas a 100 °C y almacenó en frasco ámbar.

## 1.2. Caracterización físico-químicas del aceite crudo y epoxidado

Se determinó las propiedades físico químicas de ambos aceites (crudo y epoxidado) de acuerdo a las normas de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales “ASTM”, Norma Europea (EN), Organización Internacional de Estandarización (ISO) y Sociedad Americana de Químicos del Aceite (AOCS) establecidas. Tales como: porcentaje de acidez, índice de acidez, índice de yodo, densidad (27 °C), viscosidad dinámica y cinemática a 100 °C y 40 °C, índice de peróxido, índice de saponificación y contenido de humedad como se indica en la **Tabla 1**.

**Tabla 1.** Normas empleadas para la determinación de las propiedades físico-químicas

Propiedad	Unidad de medida	Norma empleada
Acidez	%	AOCS Método oficial Ca 5a-40
Índice de acidez	mg KOH/g aceite	ASTM D-664 y EN 14111
Índice de yodo	g de $I_2$ /100g de grasa	EN 14111
Densidad (27°C)	g/cm <sup>3</sup>	ASTM D-1298
Viscosidad dinámica a 100 °C y 40 °C	Pa. s	ASTM D-445
Viscosidad cinemática a 100 °C y 40 °C	mm <sup>2</sup> /s	ASTM D-445
Índice de peróxido	mEq O/Kg grasa	ISO 3960
Índice de saponificación	mg KOH/g de grasa	ASTM D-94
Contenido de humedad	%	ASTM D-2709

**Fuente:** Elaboración propia.

## 2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 2.1. Resultados

Una vez realizada la epoxidación al aceite para mejorar sus propiedades físico-químicas, es necesario conocer la calidad del aceite resultante, para lo que se realiza una caracterización a las propiedades de los aceites bases más importantes.

Los resultados de las propiedades físico-químicas del aceite de *Jatropha curcas* L crudo y epoxidado se presentan en la **Tabla 2**.

**Tabla 2.** Propiedades físico-químicas del aceite vegetal de *Jatropha curcas* L crudo y epoxidado

Propiedad	Unidad de medida	Resultados		Especificaciones de las normas	
		Aceite Crudo	Aceite Epoxidado		
Acidez	%	5,40 ± 0,19	17,55	-	
Índice de acidez	mg KOH/g aceite	10,75	34,92	Máx. 0,8	No cumple
Índice de yodo	g de I <sub>2</sub> /100 g de grasa	91,72	27,48	120	Sí cumple
Densidad (27°C)	g/cm <sup>3</sup>	0,91 ± 0,00	1,01 ± 0,01	0,86 – 0,9	Sí cumple
Viscosidad dinámica	100 °C Pa. s	0,01	0,40	-	
	40 °C Pa. s	0,04	0,43	-	
Viscosidad cinemática	100 °C mm <sup>2</sup> /s	12,51	432,50	-	
	40 °C mm <sup>2</sup> /s	40,64	460,64	1,9 – 6,0	No cumple
Índice de peróxido	mEq O/Kg grasa	180,00	158,28	-	
Índice de saponificación	mg KOH/g de grasa	194,00	212,00	-	
Contenido de Humedad	%	0,60 ± 0,37	2,59 ± 0,77	0,05	No cumple

Fuente: Elaboración propia.

## 2.2. Discusión

El índice de acidez, determina la presencia natural de la acidez libre en las grasas, resultado de la hidrólisis o la descomposición lipolítica de algunos triglicéridos (Baldo et al. 2016). En la **Tabla 2** se muestra el valor del índice de acidez para el aceite crudo y epoxidado el cual fue de 10,75 y 34,92 mg KOH/g aceite, correspondiendo a un porcentaje de acidez de 5,40 ± 0,19 % en aceite crudo y 17,55 % para aceite epoxidado, aumentando este su valor en un 12.15%, valor que se considera superior para realizar la reacción de transesterificación, por lo que requiere un tratamiento previo debido a que es mayor al 3 % (Atabani et al. 2012). Valores en el índice de acidez se pueden ver afectados por factores como el tratamiento postcosecha de las semillas, método de extracción del aceite, exposición a la luz y a las altas temperaturas, o restos de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en el transcurso del proceso, de ahí, su variación en los valores reportados (Borges et al. 2017).

El índice de yodo mide el grado de instauración de la grasa. El aceite de *Jatropha curcas* L. obtuvo 91,72 g de I<sub>2</sub>/100 g de grasa, este valor es similar al reportado por la literatura, donde este parámetro

se encuentra entre 92 – 112 g de I<sub>2</sub>/100 g de grasa (Achten et al, 2008). Para el aceite epoxidado fue de 27,48 g de I<sub>2</sub>/100g de grasa, lo que indica que al epoxidar el aceite el 70,04 % de los dobles enlaces fueron eliminados de los restos de ácidos grasos en 4,5 horas de reacción. Estos valores son cercanos a los reportados por Franco et al. (2018) quienes utilizaron ácido peracético y perbórmico como agente epoxidante. Otros estudios como el realizado por Lafargue et al. (2015) presentaron valores de 90,82 y 36,91 g de I<sub>2</sub>/100g de grasa para el aceite crudo y epoxidado. Se puede observar que todas las propiedades han aumentado su valor excepto el índice de yodo y de peróxido, este primero es menor cuando la reacción de epoxidación se realiza con el ácido fórmico.

La densidad del aceite de *Jatropha curcas* L. fue de  $0,91 \pm 0,00$  g/cm<sup>3</sup> y después de la modificación química resultó de  $1,01 \pm 0,01$  g/cm<sup>3</sup> por lo que se evidencio un aumento apreciable. Estos valores son cercanos a los reportados por Franco et al. (2018) quienes presentaron una densidad de 0,9197 g/cm<sup>3</sup> y después de la modificación de 0,9797 g/cm<sup>3</sup>, y Lafargue (2015) con 0,9108 g/cm<sup>3</sup> y 1,0066 g/cm<sup>3</sup> en el aceite epoxidado. Este aumento de la densidad se debe al incremento de la masa molar por inserción del oxígeno en el aceite epoxidado, con respecto al crudo.

La viscosidad es la propiedad más importante de un lubricante ya que indica su resistencia a fluir (Valdez, 2010). La viscosidad dinámica para el aceite epoxidado fue de 0,43 Pa. s, mientras que en el aceite crudo fue 0,04 Pa. s, por lo tanto, después de la epoxidación la viscosidad dinámica aumento en 10,75 veces para la temperatura de 40 °C, valores similares a los observados por Lafargue (2015). Para los 100 °C la viscosidad dinámica después de la modificación química fue de 0,40 Pa.s. y del aceite crudo 0,01 Pa.s. incrementando en 40 veces.

La viscosidad cinemática crece sustancialmente en el producto, aumentando 11,33 veces para la temperatura de 40 °C y 34,60 veces para la temperatura de 100 °C con respecto al aceite epoxidado. Esto se debe principalmente al aumento de la masa molar por inserción del oxígeno en el aceite epoxidado. De acuerdo al sistema de clasificación según la viscosidad para aceites lubricantes industriales, la magnitud de la viscosidad de este aceite 460,64 mm<sup>2</sup>/s lo clasifica con grado de viscosidad ISO VG 460, cuyo valor puede oscilar entre 414 – 506 mm<sup>2</sup>/s (ASTM D-2422).

El índice de peróxido permite cuantificar la presencia de peróxidos provenientes de la oxidación primaria de los lípidos. Estos tienen la capacidad de oxidar los iones hierro (Fe<sup>2+</sup> a Fe<sup>3+</sup>) en soluciones de bajo pH (Álvarez et al, 2018). Los valores obtenidos en este estudio fueron de 180,00 mEq O/Kg grasa en aceite crudo y 158,28 mEq O/Kg grasa en aceite epoxidado, el cual es superior, comparado al reportado por Rodríguez et al. (2018).



El parámetro de índice de saponificación determina la cantidad de álcali necesaria para saponificar una cantidad específica de grasa o aceite, expresado como miligramos de hidróxido de potasio requerido para saponificar un gramo de muestra, y proporciona una aproximación de la masa molecular de la muestra (Shahidi & Wanasundara, 2008). Los resultados obtenidos son 194,00 y 212,00 mg KOH/g de grasa para aceite crudo y epoxidado. Valores similares a los reportados por Betancur et al. (2014) y Duque (2006) (193,3 y 112,55 mg KOH/g de grasa, respectivamente). Este parámetro no es de relevancia en este estudio, pero cuantifica la cantidad de ésteres presentes en el aceite, este valor también está dentro del rango esperado, siendo bastante cercano al resultado obtenido para otros aceites.

El contenido de humedad determina la cantidad de agua presente en el aceite. Se obtuvieron valores de  $0,60 \pm 0,37$  % en aceite crudo y  $2,59 \pm 0,77$  % después de la modificación química. Según la norma de calidad de aceites vegetales DIN V 51605 el porcentaje de humedad máximo permitido es 0,0750 %, por lo tanto, estos valores son superiores a los reportados por la literatura (Espinal, Bueso & Pineda, 2012). Este aumento de humedad se debe a trazas de  $H_2O_2$  luego de la reacción de epoxidación, así como residuos de agua en el proceso de lavado. Teniendo en cuenta que la presencia de agua es un factor a controlar en el proceso de elaboración del aceite lubricante por su actividad corrosiva en usos de motor.

### 3. CONCLUSIONES

La epoxidación del aceite de *Jatropha curcas* L. es un método efectivo para conseguir que las propiedades del mismo mejoren a niveles significativamente superiores, como preparación previa del aceite para el posterior proceso de obtención de lubricantes.

Se logró una disminución significativa del número de insaturaciones presentes en el aceite, donde el 70,04 % de los dobles enlaces fueron eliminados de los restos de ácidos grasos en 4,5 horas de reacción.

Sin embargo, sería importante considerar que la alta acidez provoca que la reacción de saponificación se favorezca disminuyendo el rendimiento de la reacción de transesterificación y volviendo más lentas las etapas de separación, recuperación y purificación de productos. Por lo que se debe realizar un pretratamiento al aceite, esterificando a los ácidos grasos libres con alcohol en presencia de un deshidratante ( $H_2SO_4$ ), para disminuir la acidez.

En posteriores trabajos sería importante considerar la viabilidad técnica y económica de los métodos para reducir la acidez a mayor escala de producción.

#### 4. REFERENCIAS

- Achten, M., Verchot, L., Franken, J., Mathijs, E., Singh, P., Aerts, R., & Muys, B. (2008). *Jatropha* bio-diesel production and use. Biomass and bioenergy, 32(12), 1063-1084. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.03.003> Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0961953408000767>
- Adhvaryu, A., & Erhan, S. (2002). Epoxidized soybean oil as a potential source of high-temperature lubricants. Industrial Crops and Products, 247-254. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(01\)00120-0](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(01)00120-0) Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669001001200>
- Álvarez, M., Ciro, H., & Arango, J. (2018). Caracterización fisicoquímica de oleogéles de aceite de aguacate (*Persea americana*) y sacha inchi (*Plukenetia volubilis*). Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica, 21(1), 89-97. DOI: <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n1.2018.666> Recuperado de: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-42262018000100089&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262018000100089&lng=en&nrm=iso)
- AOCS Ca 5a-40 (09). (2009). Free Fatty Acids, Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society, 6th Edition, USA. Recuperado de: <https://pdfcoffee.com/270517200-ca-5a-40-ffa-pdf-free.html>
- Atabani, A., Silitonga, A., Badruddin-Irfan, A., Mahlia, T., Masjuki, H., & Mekhilef, S. (2012). A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. Renewable and sustainable energy reviews, 16(4), 2070-2093. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.003> Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032112000044>
- Baldo, M., Oliveri, P., Simonetti, R., & Daniele, S. (2016). A novel electroanalytical approach based on the use of a room temperature ionic liquid for the determination of olive oil acidity. Talanta, 161, 881-887. DOI: 10.1016/j.talanta.2016.09.045 Recuperado de: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27769498/>
- Betancur-Prisco, J., Mira-Hernández, C., & París-Londoño, L. (2014). Propiedades físicas y mecánicas de granos de *Jatropha curcas* cultivadas en Colombia. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, (73), 187-199 Recuperado de: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-62302014000400018](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302014000400018)
- Borges, T., Pereira, J., Cabrera-Vique, C., Lara, L., Oliveira, A., & Seiquer, I. (2017). Characterization of Arbequina virgin olive oils produced in different regions of Brazil and Spain: Physicochemical properties. Oxidative stability and fatty acid profile. Food Chemistry, 215, 454-462. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.162> Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814616311955>
- Blayo, A., Gandini, A., & Le, J.F. (2001). Nest. Ind. Crops Prod. 14, 155 – 167.
- Cañarte-Bermúdez, E., Valarezo-Cely, O., & Navarrete-Cedeño, J. (2017). Estudio de la artropofauna asociada a piñón (*Jatropha curcas*) en Manabí, Ecuador. Ecuador es Calidad: Revista Científica Ecuatoriana, 4, 1-10. Recuperado de: <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/4808>
- García-Colomer, A. (2011). Diseño, selección y producción de nuevos biolubricantes. Tesis Doctoral. Universidad Ramón Lull Fundación Privada. Recuperado de: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/48759/Tesi%20Doctoral%20-%20Albert%20Garcia%20Colomer%20%28FINAL%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Duque-Ulloa, J. (2006). Exploración de la reacción de epoxidación del aceite de palma a escala de un litro (Bachelor's thesis, Uniandes). Universidad de los Andes. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/1992/22540>
- Erhan-Sevim, Z., & Sharma-Brajendra, K. (2006). Modification of Vegetable Oils for use as Industrial Lubricants. In International Conference on Artificial Reality and Telexistence-Workshops, ICAT 2006. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/profile/Brajendra-Sharma/publication/267772610\\_Modification\\_of\\_Vegetable\\_Oils\\_for\\_use\\_as\\_Industrial\\_Lubricants/links/583ef8ce08ae61f75dc783d7/Modification-of-Vegetable-Oils-for-use-as-Industrial-Lubricants.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Brajendra-Sharma/publication/267772610_Modification_of_Vegetable_Oils_for_use_as_Industrial_Lubricants/links/583ef8ce08ae61f75dc783d7/Modification-of-Vegetable-Oils-for-use-as-Industrial-Lubricants.pdf)
- Erhan-Sevim, Z. (2005). Industrial Uses of Vegetable Oils (1st ed.), Chapt 1-6, 7-12. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781003040248> Recuperado de: <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.4324/9781003040248/industrial-uses-vegetable-oil-sevim-erhan>
- Espinal-Méndez, Á., Bueso, F., & Pineda, R. (2012). Composición de la semilla y evaluación de la calidad del aceite y torta desgrasada de tres variedades de piñón (*Jatropha curcas*). Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11036/1254>
- Fox, N., & Shachowiak, G. (2007). Lubricantes a base de aceite vegetal. Rev Oxid Tribol, 1035-1044.
- Franco-Pérez, J., Díaz-Velásquez, M., Lafargue-Perez, F., & Santos-Mora, Y. (2018). Epoxidación del aceite vegetal de *Jatropha curcas* L. con ácido peracético. Tecnología Química, 38(2), 451-457 Recuperado de: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-61852018000200015](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852018000200015)
- García-Muentes, S., Lafargue-Perez, F., Labrada-Vásquez, B., Díaz-Velásquez, M., & Sánchez del Campo-Láfitia, A. (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 de: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-54212018000100012](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212018000100012)
- Gruber, B. (1993). Manufacture of oligomeric fatty acids as lubricating oil additives. DE Patent, 4201343. Recuperado de: <https://patents.google.com/patent/DE4201343A1/de>

- Heeres, H. (2006). Friction in the Market-Review of the market for environmentally acceptable lubricants. University of Groningen, 54.
- Lafargue-Perez, F., Barrera-Vaillant, N., Chitue De Assuncao-Nascimento, J., Díaz-Velásquez, M., & Rodríguez-Martínez, C. (2012). Caracterización físico química del aceite vegetal de *Jatropha curcas* L. Tecnología Química, 32(2), 162-165 Recuperado de: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-61852012000200007](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852012000200007)
- Lafargue-Peréz, F., Díaz-Velásquez, M., Leiva-Aguilar, I., Sánchez-Hechavarría, J., & Salazar-Ávila, O. (2015). Epoxidación del aceite vegetal de *Jatropha curcas* L con ácido per fórmico. Revista Tecnología Química, 35 (3), 334-341. Recuperado de: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-61852015000300009](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852015000300009)
- Mohd-Ghazi, T., Gunam-Resul, M., & Idrisz, A. (2009). Production of Biodegradable Lubricant from *Jatropha curcas* and Trimethylolpropane. International Journal of Chemical Reactor Engineering, 7(1), 1-9. DOI: <https://doi.org/10.2202/1542-6580.1957> Recuperado de: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.2202/1542-6580.1957/pdf>
- Norma ASTM D-2422 (1997). Aceites lubricantes de uso industrial. Sistema de clasificación según la viscosidad, 2da Revisión. Recuperado de: [http://manual.mobilonline.cl/manualmobil/especificaciones\\_det.php?pg=5](http://manual.mobilonline.cl/manualmobil/especificaciones_det.php?pg=5)
- Petrovic, Z., Zhang, W., Javni, I., & Guo, X. (2013). U.S. Patent Application Publication 2013090016
- Prileschajew Nikolaj (1909). "Oxydation ungesättigter Verbindungen mittels organischer Superoxyde" [Oxidación de compuestos insaturados mediante superóxidos orgánicos]. Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft (en alemán). 42 (4): 4811–4815. doi: 10.1002 / cber.190904204100
- Ponce, W., Viteri, A., Limongi-Andrade, R., Pincay-Menéndez, J., Avellán-Cedeño, B., & Moreira-García, P. (2020). Manual de cosecha y procesamiento del grano de piñón (*Jatropha curcas* L.) para la obtención de biocombustible. Portoviejo, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Portoviejo, Programa de Agro energía. (Manual Técnico no. 113). Recuperado de: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5517>
- Rodríguez-Ramos, P., Hernández-Milán, A., Melo-Espinosa, E., Zumalacárregui de Cárdenas, L., Pérez-Ones, O., Pérez Ruíz, L., & Piloto-Rodríguez, R. (2018). Caracterización del biodiesel obtenido del aceite de *Jatropha curcas* L. Afinidad, 75(581). Recuperado de: <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/335962>
- Rodríguez-Martínez, C., Lafargue-Peréz, F., Sotolongo-Peréz, J., Rodríguez-Poveda, A., & Chitue de Assuncao-Nascimento, J. (2012). Determinación de las propiedades físicas y carga crítica del aceite vegetal *Jatropha curcas* L. Ingeniería Mecánica, 170-175. Recuperado de: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1815-59442012000300001](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1815-59442012000300001)
- Rukunudin, I., Whitea, P., Bernb, C., & Baileyc, T. (1998). A Modified Method for Determining Free Fatty Acids from Small Soybean Oil Sample Sizes. JACOCS, 75(5), 564 DOI: <https://doi.org/10.1007/s11746-998-0066-z> Recuperado de: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11746-998-0066-z>
- Salgueiro-Fernández, J., Perez-Rial, L., & Cancela, M. (2014). Simulación y diseño de una planta versátil para la obtención de biodiesel. Meubook (ISBN:978-84-943003-1-8). Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/270584654\\_Simulacion\\_y\\_diseño\\_de\\_una\\_planta\\_versatil\\_para\\_la\\_obtención\\_de\\_biodiesel](https://www.researchgate.net/publication/270584654_Simulacion_y_diseño_de_una_planta_versatil_para_la_obtención_de_biodiesel)
- Shahidi, F., & Wanasundara, P. (2008). Extraction and análisis of lipids. En Akoh, C y Min, D. Eds. Food Lipids. CRC PRes, New York. 126-149 Recuperado de: [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=2i\\_vDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT198&dq=Extraction+and+analysis+of+lipids&ots=lt1eJ6a76i&sig=XzczAaZv2d6SjF0sihp0Hb0-b8Y#v=onepage&q=Extraction%20and%20analysis%20of%20lipids&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=2i_vDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT198&dq=Extraction+and+analysis+of+lipids&ots=lt1eJ6a76i&sig=XzczAaZv2d6SjF0sihp0Hb0-b8Y#v=onepage&q=Extraction%20and%20analysis%20of%20lipids&f=false)
- Sukirno., Rizkon, F., Setijo, B., & Mohammad, N. (2009). Biogrease Based on Palm Oil and Lithium Soap Thickener: Evaluation of Antiwear. World Applied Sciences Journal, 6(3), 401-407. ISSN 1818-4952 Recuperado de: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.388.585&rep=rep1&type=pdf>
- Valdez, D. (2010). Obtención de un biolubricante a partir del aceite de higuera (*Ricinus communis* L.). Tesis de la Facultad de Ingeniería Química, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz. 13-14. Recupero de: <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/41976/RamirezRomeroAlberto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

### Contribución de Autores

Autor	Contribución
Víctor Joseph García Chávez	Concepción y diseño, metodología, búsqueda bibliográfica, búsqueda de información, redacción y revisión del artículo.
Judith Rosalía Mendoza Vera	Concepción y diseño, metodología, búsqueda bibliográfica, búsqueda de información, redacción y revisión del artículo.
Segundo Alcides García Muentes	Concepción y diseño, metodología, análisis e interpretación de datos, validación.
Gabriel Alfonso Burgos Briones	Revisión y validación.
Gonzalo Oswaldo García Vincés	Concepción y diseño, metodología, búsqueda de información, adquisición de datos.

Citación sugerida: Garcia, V., Mendoza, J., García, S., Burgos, G., García, G. (2021). Epoxidación del aceite vegetal de *Jatropha curcas* L. con ácido fórmico, de la provincia de Manabí, Ecuador. Revista Bases de la Ciencia, 6(3), 21-32. DOI: [https://doi.org/10.33936/rev\\_bas\\_de\\_la\\_ciencia.v%vi%i.4125](https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v%vi%i.4125) Recuperado de: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia/article/view/4125>