

Obtención de grasas lubricantes a partir de la epoxidación del aceite de las semillas de Sacha Inchi ("Plukenetia volubilis L"), del cantón "San Vicente" de la provincia de Manabí

Obtaining lubricating greases from oil epoxidation from the seeds of Sacha Inchi ("Plukenetia volubilis L"), from the canton "San Vicente" of the province of Manabí

Fernando David García Pallo & Brando José Ponce Holguín

Universidad Técnica de Manabí

Recibido julio 2025, aceptado septiembre 2025, en línea 03 diciembre 2025

Resumen

El presente estudio se enfoca en la obtención de grasas lubricantes a partir de la epoxidación del aceite extraído de las semillas de Sacha Inchi ("Plukenetia volubilis L"), cultivadas en el cantón San Vicente, provincia de Manabí. La investigación aborda la creciente necesidad de alternativas sostenibles a los lubricantes tradicionales a base de petróleo, esto mediante la utilización del aceite de una semilla no tan conocida como el Sacha Inchi. Mediante un proceso de epoxidación, se modificó químicamente el aceite para mejorar sus propiedades fisicoquímicas y adaptarlo a aplicaciones como lubricante. El estudio incluye el diseño experimental para optimizar las condiciones de reacción, evaluando factores como la concentración de reactivos, la temperatura y el tiempo de reacción. Los resultados obtenidos demostraron la viabilidad del uso de aceite de Sacha Inchi epoxidado como una opción sostenible y efectiva en la formulación de grasas lubricantes, concluyendo que este posee características físico-químicas favorables tanto en su forma cruda como epoxidada y hallándose dentro de las normativas INEN y ISO especificadas para este tipo de grasas.

Palabras Clave: aceites vegetales, biolubricantes, química verde, sostenibilidad.

Abstract

This study focuses on obtaining lubricating greases from the epoxidation of oil extracted from Sacha Inchi seeds ("Plukenetia volubilis L"), grown in the San Vicente canton, Manabí province. The research addresses the growing need for sustainable alternatives to traditional petroleum-based lubricants, through the use of oil from a seed that is not as well-known as Sacha Inchi. Through an epoxidation process, the oil was chemically modified to improve its physicochemical properties and adapt it to applications as a lubricant. The study includes the experimental design to optimize the reaction conditions, evaluating factors such as the concentration of reagents, temperature and reaction time. The results obtained demonstrated the viability of using epoxidized Sacha Inchi oil as a sustainable and effective option in the formulation of lubricating greases, concluding that it has favorable physicochemical characteristics both in its raw and epoxidized form and is within the INEN and ISO regulations specified for this type of greases.

Keywords: vegetable oils, biolubricants, green chemistry, sustainability.

Introducción

Actualmente, la industria está cada vez más interesada en el desarrollo de productos que sean sostenibles y que minimicen la dependencia de recursos no renovables. Los aceites vegetales se utilizan ampliamente en la producción de alimentos en diferentes campos: doméstico, comercial o industrial (Cabrera-Blanco et al., 2013). Esta es una realidad sobre todo en Latinoamérica, en donde las regulaciones y leyes ambientales para el uso y manejo

de lubricantes no están establecidas de manera clara. Siendo esto una problemática que provocaría un claro deterioro del ecosistema sino también una reacción en cadena que eventualmente afectaría a la sociedad a largo plazo, presentando un alto riesgo de contraer ciertas enfermedades (Mateus-Cruz et al., 2021). De manera global, el consumo anual promedio de lubricantes fluctúa de 30-40 millones de toneladas métricas, de los cuales el 95% son de origen mineral, a su vez se estima que alrededor del 75% de estos

* Correspondencia del autor:

E-mail: fernandogpallo224@gmail.com



Esta obra está bajo una licencia de creative commons: atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0. Los autores mantienen los derechos sobre los artículos y por tanto son libres de compartir, copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra.

lubricantes usados tienen como último fin cuerpos de agua u otros ecosistemas, a través de fugas, derrames o accidentes industriales, lo que trae como consecuencia una alta contaminación ambiental que ya es preocupante al ser generalmente precedida por la presencia de componente con baja biodegradabilidad como lo son metales pesados y aditivos altamente tóxicos(Sánchez-Hechavarría et al., 2023).

En el Ecuador actualmente no existen registros estadísticos sobre la elaboración de aceites lubricantes, esto se debe a que en su mayoría se importan, entre los años de 2017 y 2018 la importación de estos llegó a cifras de 4.020.000 toneladas métricas, correspondiente a 333 millones de dólares (López-Zambrano et al., 2022). Datos que sugieren que el desarrollo de la industria local de lubricantes podría ser una alternativa sostenible a partir de investigaciones con materia prima cultivada en nuestro país.

La materia prima vegetal derivada de semillas como la de Sacha Inchi (Plukenetia Volubilis L.) para la epoxidación se ofrece como una alternativa ideal a los recursos fósiles y ha sido propuesta como una fuente sostenible equivalente al petróleo. Entre las diferentes fuentes de biomasa se encuentran los aceites vegetales no comestibles, como el aceite de Sacha Inchi (Origlia et al., 2019). Los aceites epoxidados son fluidos viscosos de apariencia translúcida y una leve coloración blanca, están compuestos por triacilglicérols cuyas insaturaciones fueron sustituidas por la inclusión de una molécula de oxígeno que forma un anillo carbono oxígeno-carbono, confiriéndole la estructura de un éter cíclico.

Los aceites epoxidados se usan principalmente en la elaboración de lubricantes, alcoholes, alcanos amidas,

compuestos carbonílicos y glicoles. En el sector de los polímeros, los aceites epoxidados son empleados para elaborar resinas de poliuretano, poliéster y epóxicas (Ramírez Jiménez, 2020.).

En Ecuador 13 provincias cultivan Sacha Inchi, entre las que se encuentran: Manabí, El Oro, Pichincha, Loja, Morona Santiago, Esmeraldas, Napo, Orellana, Pastaza, Santo Domingo de los Tsáchilas, Azuay, Cañar y Guayas; desde el año 2021 se ha incentivado su producción pues representa grandes beneficios económicos (Alarcón et al., 2021). El sachá Inchi (Plukenetia volubilis L.) es una planta amazónica que presenta floración y fructificación continua, su aceite contiene un alto porcentaje de ácidos grasos poliinsaturados, considerados de gran importancia para la salud humana(Soto et al., 2019.). El ácido α -linolénico es el principal ácido graso en este aceite, con porcentajes superiores al 51 %, seguido de los ácidos α -linoleico y oleico2,3 (Rivera et al., 2019.).

De acuerdo con lo expuesto, se plantea la obtención de grasas lubricantes a partir de la epoxidación del aceite de las semillas de Sacha Inchi ("Plukenetia volubilis L"), del cantón "San Vicente" de la provincia de Manabí. Esta investigación busca brindar una alternativa al uso de lubricantes a base de petróleo, proponiendo un enfoque que aproveche recursos renovables y no tan conocidos como lo es las semillas de Sacha Inchi, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y al desarrollo de una futura industria local.

Materiales y Métodos

La presente investigación es un estudio experimental que se desarrolló en la Universidad Técnica de Manabí. La metodología utilizada fue la expuesta por (Baque

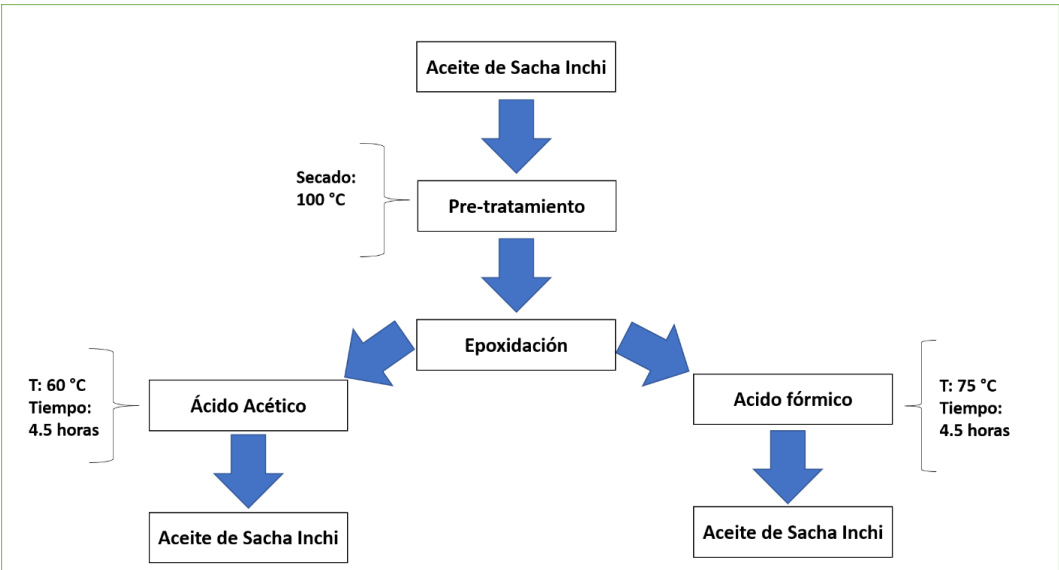


Figura 1. Esquema del proceso de obtención de grasas lubricantes a partir de aceite de las semillas de Sacha Inchi (Plukenetia volubilis "L")

et al., 2023), misma que se describe a continuación. Caracterización del aceite de Sacha Inchi (*Pluketia volubilis*).

Obtención de la materia prima y Pre-tratamiento
El aceite de Sacha Inchi fue suministrado en la cosecha del mes de Julio por un emprendimiento del cantón San Vicente (0.5976° S, 80.4194° O), perteneciente a la provincia de Manabí, el mismo que elabora este tipo de aceite de manera artesanal. Con el fin de eliminar cualquier tipo de impurezas o humedad que pudiesen interferir en el proceso de epoxidación se procedió a secar las muestras de aceite a 100 °C en la estufa (Helos Heat, modelo H055N).

Diseño experimental

El proceso de epoxidación se ejecutó utilizando: ácido acético (85%) y ácido fórmico (85%), mismo que se ilustra en la figura 1. Para la epoxidación se utilizaron 50 g de aceite de Sacha Inchi para cada ensayo, misma que se llevó a la plancha calefactora donde se sometió a calentamiento, y mediante la utilización de un termómetro digital se mantuvo una temperatura de 75°C constante. Posteriormente, se agregaron 16.5 mL de ácido fórmico y 0.9 mL de ácido sulfúrico (H2SO4) como catalizador, hasta que la solución se tornara de una coloración oscura, en este punto fue adicionado 61.5 mL de peróxido de hidrogeno al 30%, el tiempo de la epoxidación fue de 4.5 h.

Debido al nivel de pH (3) en ambas muestras, se utilizó NaOH con una concentración de 30% para neutralizar a un pH de 5 en los diferentes ácidos usados durante la epoxidación. El pH fue medido con un potenciómetro (Multifunction, modelo EZ-9902).

Para el proceso de separación de la fase acuosa y la fase oleosa se utilizó un balón de capacidad 100 mL, este proceso duró un tiempo de 24 h, pasado el tiempo de separación se retiró la fase acuosa del

Tabla 1. Análisis físico-químicos y bromatológicos aplicado al aceite crudo y epoxidado Sacha Inchi mediante métodos estandarizados

Propiedades	Método	Norma
Índice de acidez (mg/KOH/g)	Titulación	NTC 2366
Índice de yodo (I2/100g)	Método de Wijs	EN 14111
Densidad 15 °C (Kg/m3)	Picnómetro	ASTM D-1217
Viscosidad cinemática 40°C (mm2/s)	Viscosímetro de Ostwald	ASTM D-445
Humedad (%)	Pérdida por calentamiento	INEN 0039
Color	Cualitativo	-

Fuente: (Baque et al., n.d.)

Tabla 2. Resultados de la caracterización del aceite crudo de Sacha Inchi ("Plukenetia Volubilis L.")

Propiedades	Aceite crudo	Aceite crudo Reportado por otros autores	Referencias
Índice de acidez (mg/KOH/g)	1,25	0,38	(Hidalgo et al., n.d.)
Densidad (Kg/m3)	902	910	
Viscosidad Cinemática 40 °C (mm2/s)	41,2	-	
Índice de yodo (I2/100g)	146,94	192,5	(Aranda-Ventura et al., 2019)
Humedad (%)	0,048	0,05	
Color	Amarillo intenso	-	

Fuente: Elaborado por el autor

balón para dejar la oleosa y proceder al lavado con 100 mL de agua destilada, esto con el fin de eliminar cualquier tipo de sales formadas y neutralizar los ácidos presentes. Finalmente, las muestras fueron llevadas a la estufa (Helos heat, modelo H055N) a 105 °C y al desecador para eliminar cualquier rastro de humedad presente en el aceite epoxidado, las muestras se almacenaron en frascos ámbar.

El proceso para la epoxidación con ácido acético fue la misma, difiriendo únicamente en la temperatura (60°) y cantidad de catalizador empleada, siendo este de 1.35 mL H2SO4 y 13.5 mL de NaOH para regular el pH.

Con respecto al análisis estadístico se utilizó como prueba paramétrica la ANOVA, además de un procedimiento para determinar la normalidad de los datos, mismos que son descritos a continuación:

Para asegurar la validez de los análisis realizados, se verificaron los supuestos de la normalidad de los datos previo a la aplicación de una T student de dos factores, esto debido al tamaño de muestra. La misma fue realizada en Statgraphics Centurion XVIII, teniendo como hipótesis nula: que los datos siguen una distribución normal, y como hipótesis alternativa que los datos no tienen una distribución normal.

Análisis físico-químicos

En la tabla 1 se describen los análisis físico-químicos aplicados tanto al aceite crudo de Sacha Inchi, como al aceite epoxidado. Dichos ensayos fueron realizados

Tabla 3. Resultados de la Epoxidación del aceite crudo de Sacha Inchi ("Plukenetia volubilis L")

Propiedades	Aceites Epoxidados				Referencia	Norma	Valoración
	Ácido Fórmico	Ácido Acético	Media	Desviación Estándar			
Índice de acidez (mg/ KOH/g)	1,84	1,44	1,64	0,20	2 máx.	ASTM 1298	Sí cumple/No Cumple
Densidad (Kg/ m3)	974	998	986	24	920-1000	ASTM 1298	Sí Cumple en ambos
Viscosidad Cinemática (40°)	69,3	72,5	70,9	3,2	61,2-74,8	ISO	Sí cumple en ambos
Índice de yodo (I2/100g)	29,81	36,51	33,16	3,85	120 máx.	EN 41111	Sí cumple en ambos
Humedad (%)	0,035	0,041	0,038	0,003	0,05 máx.	ASTM D6304	Sí cumple en ambos
Color	Ligeramente amarillo	Ligeramente amarillo	-	-	-	-	-

según lo estipulan las normas INEN y ASTM.

Las fórmulas utilizadas para la determinación de las propiedades físico químicas del aceite crudo y epoxidado a partir de los métodos descritos en la tabla 1 se desglosan a continuación:

Índice de acidez

$$\text{Índice de acidez} = \frac{V \times N \times EqKOH}{\text{Peso de la muestra (g)}} \quad (1)$$

Donde V: volumen (m3, L, mL) de KOH consumido en el proceso de la titulación, N la normalidad del KOH (0,078) y el EqKOH el equivalente químico que corresponde a 56,1.

Índice de yodo

$$\text{Índice de yodo} = \frac{(Vs - Vn) \times N \times 12,69}{\text{Peso de la muestra (g)}} \times 100 \quad (2)$$

Teniendo que Vs son los mililitros de tiosulfato de sodio usados en el blanco, Vn son los mililitros de tiosulfato de sodio pentahidratado () usados en la muestra y N es la normalidad del tiosulfato de sodio.

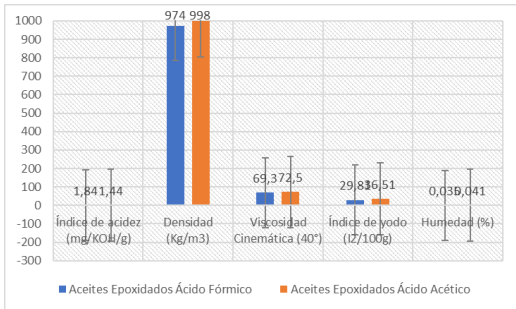


Figura 2. Comparación de las propiedades entre el aceite epoxidado con ácido fórmico vs el aceite epoxidado con ácido acético. Fuente: elaborado por el autor

Densidad

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Peso del aceite (g)}}{\text{Volúmen del picnómetro}} \quad (3)$$

Viscosidad

$$\text{Viscosidad dinámica} = \frac{\eta_{H2O}}{\eta_{\text{fluido}}} = \frac{\rho_{H2O} t_{H2O}}{\rho_{\text{fluido}} t_{H2O}} \quad (Ec. 4)$$

Teniendo que en la ecuación 4, η es viscosidad dinámica, ρ la densidad y t el tiempo. En la ecuación 5, el valor de μ corresponde a la viscosidad dinámica hallada en la Ecuación. 4.

Humedad

$$\% \text{ Humedad} = \left(1 - \frac{\text{Peso de la muestra seca (g)}}{\text{Peso de la muestra húmeda (g)}} \right) \times 100 \quad (6)$$

Resultados y Discusión

A continuación, se presentan los resultados obtenidos experimentalmente del trabajo de investigación: El aceite de Sacha Inchi caracterizado presentó

Tabla 4. Análisis de t student

Propiedad	Valor t	Valor p	Diferencia Significativa
Índice de acidez (mg/ KOH/g)	6,32	0,0327	Sí
Densidad (Kg/ m³)	0,96	0,4861	No
Viscosidad cinemática (40° C)	3,55	0,0129	Sí
Índice de yodo (I2/100g)	9,93	0,0000	Sí
Humedad (%)	7,25	0,0016	Sí

algunas diferencias significativas en sus propiedades en comparación con investigaciones anteriores, las mismas se indican en la tabla 2 a continuación:

La tabla 2 muestra los resultados de las propiedades físico- química y bromatológicas analizadas para el aceite crudo de Sacha Inchi, a su vez se realiza una comparación con lo reportado por otros autores debido que este tipo de aceite no tiene una norma establecida en cuanto a su uso para fines de grasas lubricantes.

En la tabla 3, se presentan los valores obtenidos de la caracterización físico- química realizada al aceite epoxidado, teniendo una variación poco significativa entre los dos ácidos utilizados, lo que podría ser un indicativo de que ambos tienen una alta eficacia en el proceso de epoxidación y la elección entre ellos dependería de otros factores a considerar como costo o disponibilidad.

En la figura 2 se presenta gráficamente la diferencia entre el aceite epoxidado con ácido acético vs el aceite epoxidado con ácido fórmico. El ácido fórmico parece tener una ligera ventaja en términos de un índice de yodo más bajo y un índice de acidez más cercano al estándar máximo permitido. Esto podría indicar que el ácido fórmico es marginalmente más eficiente en la epoxidación, resultando en un aceite con menos insaturaciones (menor índice de yodo) y una acidez ligeramente menor. La diferencia en densidad entre los dos aceites es notable, con el ácido acético produciendo un aceite ligeramente más denso. Esto podría influir en la decisión de elección del ácido dependiendo del uso final del lubricante. Ambos aceites tienen niveles de humedad muy bajos, lo que es visualmente apreciable en el gráfico, subrayando que ambos procesos de epoxidación son eficaces en mantener la baja humedad del producto final.

La tabla 4 describe un análisis de t student aplicado a los resultados obtenidos, teniendo que en todas propiedades se halló una diferencia significativa $p > 0,05$, a excepción de la densidad en donde no se halló diferencias significativas ($p=0,4861$), lo que podría indicar que no existe una diferencia relevante en la densidad de las dos muestras de aceite con los diferentes ácidos utilizados.

Discusión

Caracterización del aceite de Sacha Inchi

La muestra de aceite de Sacha Inchi presentó un índice de acidez mayor (1,25 mg/KOH/g) que el reportado por (Hidalgo et al., 2019) (0,38 mg/KOH/g), lo que indica un mayor contenido de ácidos grasos libres presentes en el aceite, esto puede deberse a distintos factores entre los que destacan la calidad de materia prima, las condiciones de extracción del aceite y también la degradación oxidativa que este haya sufrido, si el aceite ha sido almacenado por un tiempo prolongado puede provocar una hidrólisis de

los triglicéridos, liberando con ello más ácidos libres. Se obtuvo una densidad de 902 kg/m³, considerándose un aceite con buena composición, similar a lo reportado por otros autores. En la investigación de Paucar-Menacho et al., (2015) se obtuvo un valor de 952,3 kg/m³ utilizando aceite de oliva, la diferencia reside en que predomina el ácido oleico (un ácido graso monoinsaturado), lo que contribuye a su mayor densidad en comparación con el aceite de Sacha Inchi, que tiene un alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados como el ácido alfa-linolénico. Según la norma técnica ecuatoriana INEN (2014) la densidad debería tener un mínimo de 926 y máximo de 931, sin embargo, esta norma no es clara con respecto a si además de aplicar para el rango en que debe estar para consumo humano, también es aplicable para su posterior uso en grasas lubricantes.

La viscosidad cinemática obtenida del aceite crudo fue de 41,2 mm²/s, aquel valor se puede constatar en la investigación de (Mejía, 1997) que obtuvo un valor de 41,639; además en comparación a los otros tipos de aceites vegetales, éste posee una mayor viscosidad (Corach, 2018); ya que en este tipo de aceite predomina más el ácido linoleico, un ácido graso que le brinda la propiedad de ser más viscoso.

El valor obtenido de índice de yodo en el aceite crudo es ligeramente bajo respecto a valores establecidos por (NTP 151.400, 2009) que anuncia un intervalo entre 176-186 g de I₂/100g de grasa y Pérez Romero (2008) que en su trabajo de investigación obtuvo un índice de yodo de 186,25 g de I₂/100g de grasa, estas variaciones pueden deberse al tipo de extracción de aceite que usaron. Una mayor variación en el índice de yodo indica fluctuaciones en la cantidad de dobles enlaces, lo que es crucial para la epoxidación, ya que estos dobles enlaces son los sitios reactivos para la formación de epóxidos. Si el índice de yodo es bajo, habrá menos sitios disponibles para la epoxidación, resultando en un menor rendimiento de epóxidos.

El contenido de humedad es bajo (0,048%), alineado con otros estudios, lo que es favorable para la estabilidad del aceite. Los autores (Aranda-Ventura et al., 2019), obtuvieron un valor similar al de esta investigación de 0,05%, casi al límite de lo recomendable. Una alta humedad en el aceite puede interferir con la epoxidación al promover reacciones secundarias, como la hidrólisis de los epóxidos formados, lo que reduce la eficiencia del proceso y la calidad del producto final. Además, la presencia de agua puede catalizar la descomposición de los reactivos utilizados, comprometiendo el rendimiento del proceso.

El aceite de Sacha Inchi tiene un color amarillo debido a la presencia de carotenoides y otros pigmentos naturales. Este color puede ser más intenso en aceites no refinados o menos procesados, como en este caso era un aceite artesanal su color no podía ser tan claro al no haber pasado por un proceso de refinación industrial, es decir era un aceite crudo.

Caracterización del aceite epoxidado con ácido acético y ácido fórmico.

Se registro en la tabla 3 valores de 1,84(mg/KOH/g) para el ácido acético y 1,44(mg/KOH/g) para el ácido fórmico; evidenciando con ello que el aceite epoxidado con ácido fórmico está dentro de la norma, mientras que el aceite epoxidado con ácido acético está fuera de la norma ASTM 1298 que establece un valor máximo de 2 mg/KOH/g. Sin embargo, en investigaciones como la de Baque et al., (2023), en el que usaron ácido fórmico para la epoxidación de un aceite vegetal obtuvieron un valor de 18,94. Un aceite epoxidado no debe tener un índice de acidez alto porque los ácidos libres presentes pueden catalizar la apertura de los anillos epóxidos, lo que conduce a la formación de compuestos no deseados y reduce la estabilidad y calidad del aceite epoxidado.

En la figura 2 se exponen los resultados de la media de la densidad medidos a 27°C para el aceite epoxidado obtenido a partir del ácido fórmico y del ácido acético, cuyos valores son 974 y 998 kg/m³ respectivamente; dicho aumento se debe principalmente a la estructura y composición de ambos ácidos cuya reacción conlleva a la formación de anillos aromáticos en la estructura de los triglicéridos del aceite crudo; estos anillos que tienen en su estructura un átomo de oxígeno provoca un incremento de las fuerzas intermoleculares tipo dipolo-dipolo llevando así al aumento de esta propiedad (Ríos et al., 2019). En ambos aceites la densidad se encuentra dentro del límite que indica la norma ASTM D-1298, que especifica un valor máximo de 920-1000kg/m³ para su uso como lubricantes en motores a diésel. Un cambio en la densidad puede indicar alteraciones en la estructura del aceite después del proceso de epoxidación. Un aceite con una densidad demasiado baja o alta puede tener propiedades físicas y químicas diferentes a las esperadas, lo que puede afectar su desempeño en aplicaciones específicas.

La viscosidad obtenida del aceite epoxidado con ácido fórmico fue de 69,3 mm²/s y del aceite epoxidado con ácido acético fue de 72,5 mm²/s; esta variación entre ambos aceites es causado básicamente por la reacción que se produce entre los ácidos grasos (linoleicos) y con el tipo de ácido y también por el aumento de la masa molar del aceite epoxidado Franco-Pérez et al., (2018). De igual manera, ambos resultados están entre el límite que denota la norma ISO para el uso de lubricante ya que el valor máximo permisible es de 74,8 mm²/s, de manera que su empleo es óptimo en los distintos equipos de engranaje, bisagras, rodamientos, entre otras aplicaciones de alta viscosidad.

El índice de yodo de los aceites epoxidados se reducen considerablemente a 29,81 (para el ácido fórmico) y 36,51 (para el ácido acético), puesto que es un indicativo que hubo una conversión parcial de los enlaces dobles a grupos epoxi. De acuerdo a la norma EN 14111, los índices de yodos obtenidos están dentro

del rango máximo de 120. Un aceite epoxidado debe tener un índice de yodo bajo porque un alto índice de yodo indica una alta insaturación, lo que significa que hay muchos dobles enlaces en los ácidos grasos. Estos enlaces insaturados son reactivos y pueden llevar a una mayor formación de productos secundarios no deseados durante la epoxidación, como la oxidación o la formación de compuestos inestables. Un índice de yodo bajo, en cambio, sugiere que el aceite ya ha sido saturado, resultando en un producto más estable y con una mejor calidad en el proceso de epoxidación. El porcentaje de humedad disminuyó notablemente en los dos aceites epoxidados (0,035 para el ácido fórmico y 0,041 para el ácido acético), de modo que ambos valores se encuentran dentro del límite que sugiere la norma ASTM D63304 para la utilización de lubricantes en las plantas de producción y aplicaciones mecánicas. El autor Jiménez (2020), en su investigación sobre obtención y evaluación de epóxidos, obtuvo una humedad de 0,08% con aceite de palma y 0,07% con aceite de soya, esto podría variar por muchos factores como las condiciones durante la epoxidación, el tipo de reactivos y el método de secado, que pueden afectar el contenido de humedad.

El color del aceite epoxidado no suele estar regulado por normas específicas como ocurre con otros parámetros físico-químicos más críticos. Sin embargo, el color puede ser un indicador de la calidad, el color visualizado en este caso fue ligeramente amarillo, considerándolo aceptable ya que no afectó negativamente a las propiedades físico-químicas del lubricante.

Conclusión

Se concluye que el aceite de Sacha Inchi presenta características físico-químicas favorables tanto en su forma cruda como epoxidada. El aceite crudo muestra un índice de acidez elevado, una densidad menor comparada con otros aceites vegetales como el aceite de oliva o de soja, y una viscosidad alta debido a su contenido de ácido linoleico. Tras el proceso de epoxidación, tanto el ácido fórmico como el ácido acético resultan en aceites con índices de yodo bajos, lo que indica una conversión efectiva de enlaces insaturados a epóxidos, y una baja humedad, lo que favorece la estabilidad del producto final. Sin embargo, el ácido fórmico presenta una ligera ventaja en términos de un índice de yodo más bajo y un índice de acidez más cercano al estándar máximo permitido, sugiriendo una mayor eficiencia en la epoxidación. Ambos aceites epoxidados cumplen con los límites estipulados por las normativas de densidad y viscosidad para lubricantes, pero la elección entre los dos ácidos puede depender de las aplicaciones específicas del lubricante.

Referencias Bibliográficas

Alarcón, J., Helguero, K., RECIAMUC, S. S. (2021). Aceite de Sacha inchi: potenciador de exportaciones no tradicionales

- en el Ecuador. Reciamuc.Com. [https://doi.org/10.26820/reciamuc/5.\(1\).ene.2021.491-510](https://doi.org/10.26820/reciamuc/5.(1).ene.2021.491-510)
- Aranda-Ventura, C. J., corresponsal José Alberto Aranda Ventura, A., Aranda-Ventura, J., Villacrés-Vallejo, J., & Ríos-Isern, F. (2019a). Composición química, características físico-químicas, trazas metálicas y evaluación genotóxica del aceite de *Plukenetia volubilis* L. (sacha inchi).) Integrativa, 4(1), 4-14. <https://repositorio.essalud.gob.pe/handle/20.500.12959/3952>
- Baque, G. P., Intriago, A. F., García, S. M., Burgos, G. B., & García, G. V. (2023). Epoxidación de aceite de higuerilla (*ricinus communis*) de la provincia de manabí-ecuador. Dialnet.Unirioja.Es. <https://doi.org/10.26807/ia.v11i1.244>
- Cabrera-Blanco, O., Olguín-Jiménez, V. A., Bernal-Villavicencio, C. P., Montaña-Roldan, V. L., & Cuello-Pérez, M. (2023). Obtención de bio-grasa lubricante a partir del aceite vegetal usado en la cocina. Tecnología Química, 43(1), 101-120.
- Corach, J. (2018). Propiedades eléctricas de biodiesel, aceites vegetales y sus mezclas con gasoil: Correlación con otras características físico-químicas y su aplicación a la tecnología de biocombustibles.
- Franco-Pérez, J., Díaz-Velásquez, M., Lafargue-Pérez, F., & Santos-Mora, Y. (2018). Epoxidación del ácido vegetal de *Jatropha Curcas* L. con ácido peracético. Tecnología Química, 38(2), 380-385
- Hamed, A., Yusuf, A., Mamza, P., & Agunwa, U. (2015). Extraction and characterization of castor seed oil from wild *Ricinus communis* Linn. International Journal of Science, Environment and Technology, 4(5), 1392-1404.
- Hidalgo, R., ... L. E.-... R. de C. (2019.). Caracterización del aceite de la semilla de Sacha Inchi (*Plukenetia Volubilis*) del cantón San Vicente, Manabí, Ecuador, obtenida mediante procesos no. Scielo.Senescyt.Gob.Ec. Retrieved August 19, 2024, from http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S1390-85962019000200077&script=sci_arttext
- Jiménez, S. G. (2020). Obtención y evaluación de epóxidos provenientes de mezclas de aceites de palma y soya para su uso como plastificante en formulaciones de PVC flexible. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79613>
- López-Zambrano, L., Zambrano-Moreira, G., García-Muentes, S., Burgos-Briones, G., & García-Vinces, G. (2022). Epoxidación de biodiesel obtenido a partir del aceite de la semilla *Jatropha Curcas* L. de la provincia de Manabí - Ecuador. Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación. ISSN: 2737-6249., 5(10), 47-63. <https://doi.org/10.46296/IG.V5I10.0062>
- Mateus-Cruz, M. J., Trujillo-Toscano, L. E., & Meza-Chavarro, M. I. (2021). Análisis pestel en el contexto actual de los lubricantes térmicos en América Latina. Mundo FESC, 11(21), 221-239. <https://doi.org/10.61799/2216-0388.804>
- NTP 151.400. (2009). Norma Técnica Peruana para Aceite de Sacha Inchi del género *Plukenetia*.
- Origlia, E. E., Casuscelli, S. G., & Cánepa, A. L. (2019). Síntesis de Materiales como Catalizadores en la Epoxidación de FAME's Obtenidos de Aceite de Ricino. AJEA, 4. <https://doi.org/10.33414/AJEA.4.373.2019>
- Paucar-Menacho, L., Salvador-Reyes, R., Guillem-Sanchez, J., Capa-Robles, J., & Moreno-Rojó, C. (2015). Estudio comparativo de las características físico-químicas del aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.), aceite de oliva (*Olea ueropaea*) y aceite crudo de pescado . Scientia Agropecuaria, 279-290.
- Pérez Romero, L. F. (2008). Evaluación de cuatro temperaturas de prensado en la calidad del aceite virgen de sacha inchi (*Pluketenia Volubilis* L.).
- Ramírez Jiménez, L. M. (2020). Modelo cinético para la reacción de epoxidación de aceite vegetal usado. Repositorio.Unal.Edu.Co. Retrieved August 19, 2024, from <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/77805>
- Riba, J., Esteban, B., Baquero, G., Puig, R., & Rius, A. (2010). Caracterización de las propiedades físicas de aceites vegetales para ser utilizados como carburante en motores diesel. Afinidad, 67(546).
- Ríos, I., Cordeiro, J., Arruda, T., Rodríguez, F., Uchoa, A., Luna, F., Ricardo, N. (2019). Chemical modification of castor oil fatty acids (*Ricinus communis*) for biolubricant applications: An alternative for Brazils green market. Industrial Crops and Products, 145.
- Rivera, R. A., (2019). Evaluación de la vida útil de los aceites de Sacha Inchi (*Plukenetia huayllabambana* y *Plukenetia volubilis*) microencapsulados. Scielo.Org.Pe. Retrieved August 18, 2024, from http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2019000300005&script=sci_arttext
- Sánchez-Hechavarria, J., ... F. L.-P.-T. (2023). Propiedades físicoquímicas y tribológicas del aceite de *Jatropha curcas* L. epoxidado. Scielo.Sld.CuJ Sánchez-Hechavarria, F Lafargue-Pérez, M Díaz-Velásquez, SA García-MuentesTecnología Química, 2023•scielo.Sld.Cu. Retrieved August 18, 2024, from http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-61852023000100204&script=sci_arttext&lng=pt
- Soto, L. M., ... C. L. C.-R. C. (2019). Caracterización de los compuestos de aroma del aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) por HS-SPME-GC-MS-O. Scielo.Org.Co. Retrieved August 18, 2024, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-28042019000300045&script=sci_arttext