Research Club Scientia Vol. 4, No 4
Frecuencia: Octubre–Diciembre 2026
ISSN: 3103 - 1315
DOI: https://doi.org/10.65415/3kvn3s86

Efecto de la epoxidación y transesterificación en las propiedades térmicas y lubricantes de bioaceites agrícolas: una revisión documental

Effect of epoxidation and transesterification on the thermal and lubricating properties of agricultural bio-oils: a documentary review

Effetto dell'epossidazione e della transesterificazione sulle proprietà termiche e lubrificanti dei bio-oli agricoli: una revisione documentale

Anthony Leonardo Encalada Obaco[I]
aencaladao2@unemi.edu.ec
ORCID: https://orcid.org/0009-0002-2279-1395
Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera Ingeniería Industrial, Universidad Estatal de Milagro, Ecuador

Jordy Wenceslao Jimbo Campoverde[I]
jjimboc2@unemi.edu.ec
ORCID: https://orcid.org/0009-0005-6873-3221
Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera Ingeniería Industrial, Universidad Estatal de Milagro, Ecuador

Valeria Viviana Vera Lavayen[I]
vveral6@unemi.edu.ec
ORCID: https://orcid.org/0009-0000-2067-2160
Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera Ingeniería Industrial, Universidad Estatal de Milagro, Ecuador

Jorge Tomas Holguín Anzules[I]
jholguina7@unemi.edu.ec
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4454-4184
Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera Ingeniería Industrial, Universidad Estatal de Milagro, Ecuador

Correspondencia: vveral6@unemi.edu.ec

Artículo de Investigación

Aceptado: 26/Noviembre/2026 Publicado: 27/Noviembre/2026

I. Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera Ingeniería Industrial, Universidad Estatal de Milagro, Ecuador

.

Resumen

Los bioaceites agrícolas constituyen una alternativa a los lubricantes derivados del petróleo, aunque sus propiedades térmicas y lubricantes requieren modificaciones químicas para determinadas aplicaciones industriales. El presente estudio tuvo como objetivo analizar el efecto de la epoxidación y la transesterificación sobre las propiedades térmicas y lubricantes de los bioaceites agrícolas. La metodología adoptó un enfoque cualitativo, de alcance descriptivo, con diseño no experimental y de corte transversal documental. La búsqueda bibliográfica en Scopus identificó 727 artículos publicados entre 2020 y 2026, mientras que la síntesis documental se centró en siete publicaciones seleccionadas mediante un muestreo no probabilístico intencional. Los estudios revisados reportaron que la epoxidación del ácido linoleico incrementó la temperatura de oxidación de 147 a 163 °C, valor que alcanzó 181,04 °C tras la apertura del anillo oxirano. Los biolubricantes obtenidos mediante transesterificación con alcoholes polifuncionales presentaron índices de viscosidad entre 180 y 197,4. El aceite de soya epoxidado con líquido iónico registró una reducción de fricción de hasta el 72,3 %, mientras que la incorporación adicional de grafeno redujo el desgaste en un 91,3 %. Se concluyó que los efectos de la modificación química dependen de la composición de la materia prima, los reactivos y las condiciones de reacción, así como de los tratamientos complementarios empleados para obtener las propiedades requeridas en cada aplicación industrial.

Palabras clave: Bioaceites Agrícolas; Epoxidación; Transesterificación; Propiedades Térmicas y Lubricantes.

Abstract

Agricultural bio-oils represent an alternative to petroleum-derived lubricants, although their thermal and lubricating properties require chemical modifications for certain industrial applications. This study aimed to analyze the effect of epoxidation and transesterification on the thermal and lubricating properties of agricultural bio-oils. The methodology adopted a qualitative approach, with a descriptive scope and a non-experimental, cross-sectional documentary design. The literature search in Scopus identified 727 articles published between 2020 and 2026, while the documentary synthesis focused on seven publications selected through non-probability purposive sampling. The reviewed studies reported that linoleic acid epoxidation increased the oxidation temperature from 147 to 163 °C, reaching 181.04 °C after oxirane ring opening. Biolubricants obtained through transesterification with polyfunctional alcohols exhibited viscosity indices ranging from 180 to 197.4. Epoxidized soybean oil containing an ionic liquid exhibited a friction reduction of up to 72.3%, while the additional incorporation of graphene reduced wear by 91.3%. It was concluded that the effects of chemical modification depend on feedstock composition,

reagents, reaction conditions, and complementary treatments used to achieve the properties required for each industrial application.

Keywords: Agricultural Bio-oils; Epoxidation; Transesterification; Thermal and Lubricating Properties.

Riassunto

I bio-oli agricoli costituiscono un'alternativa ai lubrificanti derivati dal petrolio, sebbene per alcune applicazioni industriali sia necessario modificarne chimicamente le proprietà termiche e lubrificanti. Lo studio ha analizzato l'effetto dell'epossidazione e della transesterificazione su tali proprietà. È stato adottato un approccio qualitativo e descrittivo, con un disegno documentale, trasversale e non sperimentale. La ricerca bibliografica in Scopus ha individuato 727 articoli pubblicati tra il 2020 e il 2026. La sintesi documentale ha esaminato sette pubblicazioni selezionate mediante campionamento intenzionale non probabilistico. Gli studi esaminati hanno riportato che l'epossidazione dell'acido linoleico ha aumentato la temperatura di ossidazione da 147 a 163 °C, fino a 181,04 °C dopo l'apertura dell'anello ossiranico. I biolubrificanti ottenuti per transesterificazione con alcoli polifunzionali hanno mostrato indici di viscosità compresi tra 180 e 197,4. L'olio di soia epossidato contenente un liquido ionico ha registrato una riduzione dell'attrito fino al 72,3%, mentre l'ulteriore aggiunta di grafene ha ridotto l'usura del 91,3%. Gli effetti della modifica chimica dipendono dalla composizione della materia prima, dai reagenti, dalle condizioni di reazione e dai trattamenti complementari impiegati per ottenere le proprietà richieste per ciascuna applicazione industriale.

Parole chiave: Bio-oli agricoli; epossidazione; transesterificazione; proprietà termiche e lubrificanti.

1. Introducción

La producción de lubricantes a partir de materias primas renovables constituye una alternativa al aprovechamiento de recursos derivados del petróleo debido a los problemas ambientales asociados con su baja biodegradabilidad y toxicidad. El aceite de origen agrícola presenta características de interés industrial por su composición de ácidos grasos, capacidad lubricante y disponibilidad como materia prima. Su aplicación se ha estudiado en sistemas de transmisión, maquinaria agrícola y equipos industriales, donde el control de la fricción y el desgaste interviene en la conservación de las superficies metálicas (Kamal et al., 2026).

La composición molecular del aceite vegetal condiciona su comportamiento frente a la oxidación, las variaciones de temperatura y la formación de películas lubricantes. La presencia de dobles enlaces en las cadenas de ácidos grasos insaturados incrementa la susceptibilidad a la degradación oxidativa. La epoxidación modifica estos enlaces mediante la formación de grupos oxirano,

mientras que la transesterificación transforma los triglicéridos en ésteres con propiedades fisicoquímicas diferenciadas. La modificación química del aceite de soya mediante epoxidación e hidroxilación presentó variaciones en la viscosidad y consistencia del producto según la concentración de ácido oleico y el alcohol empleado durante la reacción (Robles Molina et al., 2026).

La modificación del ácido linoleico mediante epoxidación incrementó la temperatura de inicio de oxidación de 147 a 163 °C y el punto de inflamación de 113 a 145 °C. La posterior apertura del anillo oxirano elevó estos valores a 181,04 y 228 °C, respectivamente (Abdullah & Ali, 2026).

La síntesis de un biolubricante mediante transesterificación en dos etapas de aceite de cocina usado alcanzó un rendimiento experimental del 84 %, un índice de viscosidad de 197,4 y un índice de acidez de 0,42 mg KOH/g (Pazoki et al., 2026).

La evidencia científica sobre la modificación química de los aceites vegetales presenta diferencias en las materias primas, los reactivos y los procedimientos de caracterización. La incorporación de tratamientos complementarios, como la apertura del anillo oxirano, la hidroxilación y la aditivación, dificulta la identificación de los efectos individuales de la epoxidación y la transesterificación sobre las propiedades térmicas y lubricantes. La presente revisión aborda este vacío mediante la comparación de los resultados experimentales y la diferenciación de los efectos asociados con cada ruta de modificación química (Abdullah & Ali, 2026; Avilés et al., 2026; Ribeiro et al., 2026).

El presente estudio tiene como objetivo analizar el efecto de la epoxidación y la transesterificación sobre las propiedades térmicas y lubricantes de los bioaceites agrícolas mediante una revisión documental de publicaciones científicas del periodo 2020–2026. El análisis se orienta a la comparación de las modificaciones moleculares, la estabilidad térmica y oxidativa, la viscosidad y el comportamiento tribológico, con énfasis en la diferenciación de los efectos propios de cada reacción y de los tratamientos complementarios.

2. Metodología

El estudio adoptó un enfoque cualitativo, de alcance descriptivo, con diseño no experimental y de corte transversal documental. La investigación se fundamentó en la revisión de publicaciones científicas para examinar las modificaciones químicas de los bioaceites agrícolas y describir sus propiedades térmicas y lubricantes, sin manipulación de variables ni intervención experimental (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018).

La técnica empleada fue la observación documental y el instrumento consistió en una ficha de revisión documental, destinada al registro de la materia prima, proceso de modificación química, condiciones de reacción, estabilidad térmica y oxidativa, viscosidad, coeficiente de fricción y

desgaste. El análisis documental constituye un procedimiento de selección, organización e interpretación de información registrada en fuentes científicas (Marcelino Aranda et al., 2024).

La búsqueda bibliográfica se efectuó el 24 de noviembre de 2026 en la base de datos Scopus mediante operadores booleanos y términos relacionados con las variables de estudio. La estrategia de búsqueda consideró los campos de título, resumen y palabras clave, conforme a la siguiente ecuación:

TITLE-ABS-KEY ((biolubricant* OR "bio-based lubricant*" OR "vegetable oil*" OR "plant oil*" OR "seed oil*") AND (epoxidation OR transesterification) AND (thermal OR tribolog* OR lubric* OR viscosity OR "oxidative stability"))

La delimitación de las publicaciones consideró el periodo 2020–2026, el tipo de documento y los criterios de pertinencia temática establecidos en la Tabla 1. La base documental exportada de Scopus estuvo constituida por 727 artículos en idioma inglés, de los cuales 718 correspondieron a publicaciones en versión final y nueve a artículos en prensa. La revisión de los identificadores DOI y EID no registró duplicidades.

Tabla 1. Criterios de inclusión y exclusión de las publicaciones científicas.

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Artículos científicos publicados entre 2020 y 2026.	Publicaciones fuera del periodo establecido.
Artículos en español e inglés.	Documentos publicados en otros idiomas.
Investigaciones sobre bioaceites de origen agrícola.	Estudios centrados exclusivamente en lubricantes de origen mineral o sintético no biológico.
Estudios relacionados con la epoxidación o transesterificación de aceites vegetales.	Investigaciones destinadas exclusivamente a la producción de biodiésel.
Publicaciones con información sobre propiedades térmicas, fisicoquímicas o tribológicas.	Documentos sin información pertinente a las propiedades estudiadas.
Estudios con procedimientos y resultados verificables.	Registros duplicados o con información insuficiente.

Nota: Elaboración propia.

La aplicación de los filtros en Scopus permitió establecer una población documental de 727 artículos científicos, cuya distribución anual se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Distribución de la población documental.

Año de publicación	Número de artículos
2020	87
2021	104
2022	116
2023	112
2024	99
2025	121
2026	88
Total	727

Nota: Elaboración propia a partir de Scopus. Fecha de consulta: 24 de noviembre de 2026. Los registros de 2026 corresponden a un periodo anual parcial.

La selección de la muestra documental se realizó mediante un muestreo no probabilístico intencional, conforme a criterios de pertinencia temática, disponibilidad del texto completo y correspondencia de los resultados experimentales con el objetivo de estudio (Palinkas et al., 2015). Se seleccionaron cinco publicaciones de la base documental inicial de Scopus y se incorporaron dos estudios mediante búsquedas complementarias. La muestra quedó constituida por siete publicaciones científicas de 2026, cuyos resultados aportaron información específica sobre los procesos de modificación química, las condiciones experimentales y las propiedades térmicas, fisicoquímicas y tribológicas de los bioaceites agrícolas. La selección se fundamentó en la relevancia y especificidad de la evidencia experimental, sin establecer restricciones adicionales respecto al año de publicación.

El análisis bibliométrico se efectuó sobre los 727 registros recuperados de Scopus mediante la herramienta Analyze search results, para caracterizar la distribución de las publicaciones científicas por año, país y autor. La síntesis documental se centró en siete estudios científicos, cuya información se organizó mediante una ficha de revisión documental para el análisis comparativo de los procesos de modificación química y las propiedades de los bioaceites agrícolas.

Las categorías temáticas se establecieron conforme al objetivo de investigación, los procesos químicos y los indicadores experimentales de las publicaciones seleccionadas. Se definieron cuatro categorías: epoxidación y modificaciones posteriores, transesterificación, propiedades térmicas y oxidativas, y propiedades lubricantes y tribológicas. La clasificación permitió la inclusión de una misma publicación en varias categorías, según los tratamientos químicos y las propiedades evaluadas.

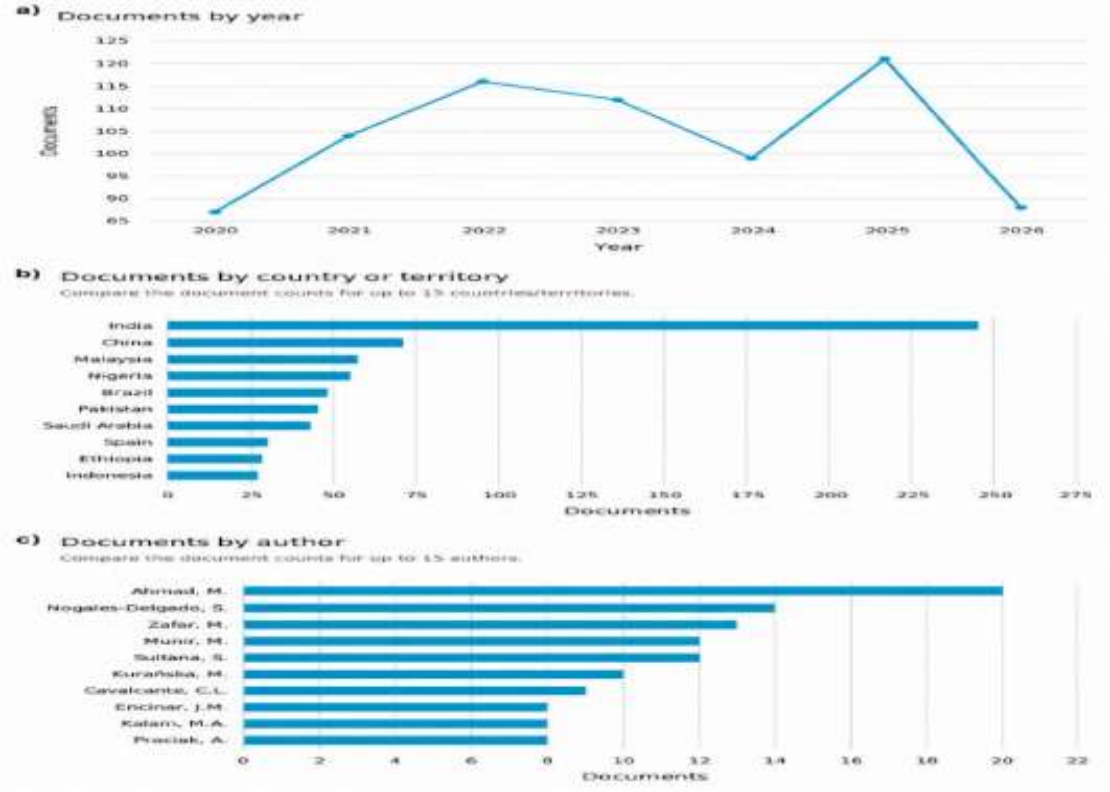
La ficha de revisión documental permitió organizar los datos de las materias primas, las condiciones experimentales, los indicadores y los valores reportados en las publicaciones originales. La verificación de la información se efectuó mediante el contraste de los datos registrados con las tablas, figuras y resultados de los estudios seleccionados, conforme a las unidades de medida y las condiciones de evaluación experimental.

3. Resultados

Producción científica sobre Bioaceites Agrícolas

La revisión de los 727 artículos científicos recuperados de Scopus durante el periodo 2020-2026 identificó la distribución anual de las publicaciones, los países con mayor participación y los investigadores con mayor número de contribuciones científicas (Figura 1).

Figura 1. Distribución de las publicaciones científicas por año, país y autor.



Nota: Elaboración propia a partir de Scopus (2026). Conteo por afiliación geográfica y autoría de las publicaciones.

La Figura 1a registra un incremento de 87 a 116 publicaciones entre 2020 y 2022, seguido de una disminución hasta 99 en 2024. El mayor registro anual correspondió a 2025, con 121 artículos,

equivalente al 16,64 % de la población documental. Hasta el 24 de noviembre de 2026 se contabilizaron 88 publicaciones, cifra correspondiente a un periodo anual parcial.

La Figura 1b presenta a India como el país con mayor producción científica, con aproximadamente 245 publicaciones, seguido de China, Malasia y Nigeria. Brasil ocupó la quinta posición y fue el único representante latinoamericano entre los diez países presentados.

La Figura 1c registra la mayor participación científica de M. Ahmad, con 20 publicaciones, seguido de S. Nogales-Delgado y M. Zafar, con 14 y 13 documentos, respectivamente. M. Munir y S. Sultana registraron 12 publicaciones cada uno.

Selección y características de los estudios

La búsqueda inicial en Scopus identificó 727 artículos científicos correspondientes al periodo 2020–2026, sin registros duplicados. El análisis documental integró cinco publicaciones procedentes de la base inicial y dos estudios identificados mediante búsquedas complementarias. Las siete publicaciones corresponden a 2026 y presentan evidencia experimental relacionada con las modificaciones químicas de los bioaceites agrícolas. La Tabla 3 presenta sus características metodológicas, materias primas y principales aportes científicos.

Tabla 3. Características de los estudios seleccionados.

Autor/año	País de afiliación	Objetivo del estudio	Diseño	Materia prima	Principal aporte
Abdullah y Ali (2026)	Irak	Sintetizar polioles para aplicaciones lubricantes.	Experimental	Ácido linoleico	Mejora de la estabilidad oxidativa.
Avilés et al. (2026)	España	Evaluar la fricción y el desgaste.	Experimental	Aceite de soya	Reducción de la fricción mediante aditivos.
Filon et al. (2026)	Grecia	Sintetizar y caracterizar ésteres.	Experimental	Aceite de girasol	Índices de viscosidad entre 180 y 196.

Research Club Scientia Vol. 4, No 4, Octubre - Diciembre, pp. 1757-1772, ISSN: 3103 – 1315

Autor/año	País de afiliación	Objetivo del estudio	Diseño	Materia prima	Principal aporte
Nogales-Delgado (2026)	España	Analizar la estructura molecular.	Experimental y análisis multivariante	Aceites vegetales	Influencia molecular sobre la viscosidad y la oxidación.
Pazoki et al. (2026)	Irán	Optimizar transesterificación.	Experimental	Aceite de cocina usado	Rendimiento del 84 % e índice de viscosidad de 197,4.
Ribeiro et al. (2026)	Portugal	Evaluar derivados del aceite epoxidado.	Experimental	Aceite de soya	Variaciones de la viscosidad y fricción.
Robles Molina et al. (2026)	Estados Unidos	Evaluar el perfil de ácidos grasos.	Experimental	Aceite de soya	Obtención de productos de diferente consistencia.

Nota: Elaboración propia. Los países corresponden a las afiliaciones institucionales de los investigadores.

Categorías temáticas identificadas

La información documental se agrupó en cuatro categorías temáticas, según los procesos de modificación química y las propiedades evaluadas. Las categorías no son mutuamente excluyentes, debido a que una misma publicación puede aportar evidencia a más de una categoría (Tabla 4).

Tabla 4. Categorías temáticas derivadas del análisis documental.

Categoría	Descripción	Número de estudios	Estudios correspondientes
Epoxidación y modificaciones posteriores	Formación y apertura de grupos oxirano, hidroxilación y modificación de aceites epoxidados.	4	Abdullah y Ali (2026); Avilés et al. (2026); Ribeiro et al. (2026); Robles Molina et al. (2026).

Categoría	Descripción	Número de estudios	Estudios correspondientes
Transesterificación	Síntesis de ésteres mediante diferentes tipos de alcoholes.	4	Filon et al. (2026); Nogales-Delgado (2026); Pazoki et al. (2026); Ribeiro et al. (2026).
Propiedades térmicas y oxidativas	Estabilidad térmica, oxidación, inflamación y fluidez.	7	Abdullah y Ali (2026); Avilés et al. (2026); Filon et al. (2026); Nogales-Delgado (2026); Pazoki et al. (2026); Ribeiro et al. (2026); Robles Molina et al. (2026).
Propiedades lubricantes y tribológicas	Viscosidad, fricción, desgaste y consistencia.	7	Abdullah y Ali (2026); Avilés et al. (2026); Filon et al. (2026); Nogales-Delgado (2026); Pazoki et al. (2026); Ribeiro et al. (2026); Robles Molina et al. (2026).

Nota: Las categorías no son excluyentes; los siete estudios presentan 22 asignaciones temáticas.

Síntesis de los hallazgos científicos

Los resultados experimentales de las siete publicaciones seleccionadas se organizaron en una matriz comparativa, conforme a la materia prima, el tratamiento químico, las condiciones experimentales y los indicadores de evaluación térmica, oxidativa y tribológica (Tabla 5).

Tabla 5. Matriz comparativa de las propiedades térmicas y lubricantes de los bioaceites agrícolas.

Referencia	Materia prima	Tratamiento químico	Condiciones de evaluación	Indicador	Resultado reportado
Abdullah y Ali (2026)	Ácido linoleico	Epoxidación y apertura del anillo oxirano	Calorimetría diferencial de barrido (DSC)	Temperatura de inicio de oxidación	147 °C (original); 163 °C (epoxidado); 181,04 °C (apertura del anillo).

Referencia	Materia prima	Tratamiento químico	Condiciones de evaluación	Indicador	Resultado reportado
Avilés et al. (2026)	Aceite de soya	Aceite epoxidado con 1 % de líquido iónico, con y sin 0,1 % de grafeno	Ensayo pin-on-disk, carga de 1 N, velocidad de 0,1 m/s, recorrido de 1500 m y temperatura de 23 ± 2 °C	Fricción y desgaste	Reducción de fricción del 72,3 % respecto al líquido iónico puro y del 43 % respecto al aceite epoxidado. Reducción del desgaste del 91,3 % respecto al aceite epoxidado sin aditivos.
Filon et al. (2026)	Aceite de girasol	Transesterificación con trimetilolpropano	Viscosidad a 40 y 100 °C; ensayo RSSOT	Viscosidad cinemática, índice de viscosidad y estabilidad oxidativa	41,27–52,73 mm²/s a 40 °C; 8,668–10,02 mm²/s a 100 °C; índice de viscosidad de 180–196; estabilidad oxidativa de hasta 54,27 min.
Nogales-Delgado (2026)	Aceites vegetales y otras materias primas lipídicas	Síntesis de ésteres con diferentes alcoholes	Análisis multivariante y descomposición de varianza de 108 muestras	Fracción de variabilidad atribuible al alcohol	Región de baja insaturación: 66,5 % en estabilidad oxidativa y 54,9 % en viscosidad. Región de alta insaturación: 10,4 % y 12,6 %, respectivamente.

Referencia	Materia prima	Tratamiento químico	Condiciones de evaluación	Indicador	Resultado reportado
Pazoki et al. (2026)	Aceite de cocina usado	Transesterificación en dos etapas con metanol y pentaeritritol	Síntesis a 140 °C, 120 min y relación molar 6:1. ASTM D445 y D2270	Rendimiento, viscosidad cinemática e índice de viscosidad	Rendimiento del 84 %; viscosidad de 18,98 mm²/s a 40 °C y 4,87 mm²/s a 100 °C; índice de viscosidad de 197,4.
Ribeiro et al. (2026)	Aceite de soya epoxidado	Amidación y transesterificación con aminoalcoholes	Viscosidad cinemática a 40 °C y análisis de degradación térmica	Viscosidad y temperatura inicial de degradación	120,6–170,1 mm²/s; temperatura inicial de degradación de 139,9–242,5 °C en los derivados purificados, frente a 352,5 °C del aceite epoxidado.
Robles Molina et al. (2026)	Aceite de soya convencional y alto oleico	Epoxidación e hidroxilación	Viscosidad dinámica a 25 °C; análisis térmico bajo nitrógeno y aire	Viscosidad dinámica, índice de viscosidad y temperatura de transición vítrea	Con etilenglicol: viscosidad de 1039 y 1671 mPa·s; índices de viscosidad de 198 y 194; transición vítrea de −32,21 y −22,42 °C, respectivamente.

Nota: Elaboración propia a partir de las publicaciones seleccionadas.

La modificación de los dobles enlaces del ácido linoleico mediante epoxidación incrementó la temperatura de inicio de oxidación de 147 a 163 °C. La apertura del anillo oxirano elevó este valor a 181,04 °C. El punto de inflamación presentó un incremento de 113 a 145 °C después de la epoxidación y alcanzó 228 °C tras la apertura del anillo oxirano (Abdullah & Ali, 2026).

La transesterificación con alcoholes polifuncionales produjo biolubricantes con índices de viscosidad entre 180 y 197,4, a partir de aceite de girasol y aceite de cocina usado (Filon et al., 2026; Pazoki et al., 2026). La composición de los ácidos grasos presentó una mayor influencia sobre la estabilidad oxidativa, mientras que la estructura del alcohol empleado condicionó las propiedades viscosimétricas de los productos sintetizados (Nogales-Delgado, 2026).

La modificación del aceite de soya epoxidado con aminoalcoholes registró viscosidades cinemáticas entre 120,6 y 170,1 mm^2/s a 40 °C (Ribeiro et al., 2026). La epoxidación e hidroxilación de aceites de soya convencional y alto oleico produjo formulaciones líquidas de elevada viscosidad y grasas sólidas y semisólidas, según la composición de los ácidos grasos (Robles Molina et al., 2026).

La formulación de aceite de soya epoxidado con un 1 % en masa de líquido iónico presentó un coeficiente de fricción promedio de 0,065, equivalente a una reducción del 72,3 % respecto al líquido iónico puro y del 43 % respecto al aceite epoxidado sin aditivos. La incorporación adicional de un 0,1 % en masa de grafeno redujo la tasa de desgaste en un 91,3 % respecto al aceite epoxidado sin aditivos. Los ensayos se efectuaron mediante una configuración pin-on-disk, con contacto zafiro-acero inoxidable y una distancia de deslizamiento de 1500 m (Avilés et al., 2026).

Vacíos identificados en los estudios seleccionados

Las investigaciones seleccionadas presentan diferencias en las materias primas, los reactivos químicos y las condiciones de evaluación experimental. La incorporación de aminoalcoholes, polioles y aditivos dificulta la identificación del efecto individual de cada modificación química. Los ensayos de estabilidad oxidativa emplean diferentes procedimientos de medición, mientras que la caracterización tribológica depende de las configuraciones de contacto y las condiciones de operación.

4. Discusión

El análisis de los siete estudios seleccionados identificó efectos diferenciados de la epoxidación y la transesterificación sobre la resistencia oxidativa, la viscosidad y el comportamiento tribológico de los bioaceites agrícolas. Como referencia contextual, Rajwani y Yadav (2020), en un documento de trabajo publicado en SSRN, reportaron temperaturas iniciales de degradación de 338 °C mediante la epoxidación seguida de transesterificación del aceite de ricino deshidratado y de 205 °C cuando se invirtió el orden de las reacciones. Estos resultados aportan información sobre la influencia de la secuencia de modificación química, aunque las temperaturas de degradación y de inicio de oxidación corresponden a indicadores experimentales diferentes.

La epoxidación incrementó la resistencia oxidativa del ácido linoleico, aunque produjo un comportamiento desfavorable en el punto de fluidez. Este efecto se relaciona con la transformación

de los dobles enlaces en grupos oxirano, cuya presencia modifica las interacciones moleculares y las características de flujo a bajas temperaturas. Las modificaciones químicas representan una alternativa para superar las limitaciones fisicoquímicas de los aceites vegetales. Los resultados de Abdullah y Ali (2026) amplían este planteamiento al demostrar que la apertura posterior del anillo oxirano mejora la resistencia oxidativa y reduce el punto de fluidez. La selección de esta ruta de síntesis requiere evaluar simultáneamente el comportamiento oxidativo y la capacidad de flujo del lubricante.

La transesterificación con alcoholes polifuncionales produjo biolubricantes con índices de viscosidad elevados, asociados con las características moleculares de los ésteres sintetizados. Como referencia externa a la muestra documental, Egbuna et al. (2021) reportaron índices de viscosidad de 139 y 132 en derivados del aceite de palmiste mediante transesterificación y epoxidación-esterificación, respectivamente. Los estudios seleccionados registraron índices entre 180 y 197,4 en derivados del aceite de girasol y aceite de cocina usado. Las diferencias en las materias primas, los alcoholes y las condiciones experimentales restringen la atribución de estas variaciones a un único proceso químico.

El comportamiento tribológico de los aceites epoxidados presentó mejoras asociadas con la incorporación de aminoalcoholes, líquidos iónicos y grafeno. Ribeiro et al. (2026) identificaron variaciones en el coeficiente de fricción mediante curvas de Stribeck, mientras que Avilés et al. (2026) reportaron reducciones de fricción y desgaste mediante ensayos pin-on-disk. Las diferencias en las configuraciones de contacto, las condiciones de operación y los mecanismos de lubricación restringen la comparación cuantitativa directa de los resultados.

La aplicación industrial de los bioaceites modificados depende del equilibrio entre las propiedades térmicas y lubricantes. Los productos derivados de una misma materia prima pueden presentar variaciones en el punto de inflamación, la viscosidad y la fluidez al ser sometidos a distintas rutas químicas. Este comportamiento guarda correspondencia con los resultados de Nogales-Delgado (2026), quien identificó una mayor influencia de la composición de ácidos grasos sobre la estabilidad oxidativa y de la estructura del alcohol sobre la viscosidad. La formulación de biolubricantes debe ajustarse a las condiciones de temperatura, velocidad y carga mecánica de los equipos industriales.

La revisión presentó limitaciones asociadas con el uso de Scopus como base bibliográfica principal, la delimitación temporal, las restricciones de idioma y el muestreo no probabilístico intencional. La concentración de los estudios seleccionados en 2026 constituye una posible fuente de sesgo de selección. La ausencia de un registro detallado de las exclusiones por etapas limita la reproducibilidad del procedimiento documental. Las diferencias entre las materias primas, los

Research Club Scientia Vol. 4, No 4, Octubre - Diciembre, pp. 1757-1772, ISSN: 3103 – 1315

catalizadores y los métodos de caracterización restringen la comparación directa de los resultados experimentales.

El aporte científico de la revisión radica en la diferenciación de los efectos asociados con cada proceso de modificación química y los tratamientos complementarios. La epoxidación modifica principalmente los sitios de insaturación susceptibles a la oxidación, mientras que la transesterificación permite ajustar las características viscosimétricas mediante la selección de alcoholes. La integración de estas transformaciones constituye una alternativa para el desarrollo de biolubricantes agrícolas con propiedades específicas, cuya evaluación requiere considerar la estabilidad térmica, la resistencia oxidativa, la viscosidad y el desempeño tribológico.

5. Conclusiones

La epoxidación y la transesterificación producen efectos diferenciados sobre las propiedades térmicas y lubricantes de los bioaceites agrícolas. La epoxidación favorece la resistencia oxidativa, aunque puede afectar la fluidez a bajas temperaturas, mientras que la transesterificación con alcoholes polifuncionales permite obtener productos con elevados índices de viscosidad. La eficacia de ambos procesos depende de la composición de los ácidos grasos, los reactivos empleados y las condiciones de modificación química.

El aporte de la investigación consiste en diferenciar los efectos propios de cada reacción de aquellos asociados con tratamientos complementarios, como la apertura del anillo oxirano, la hidroxilación y la incorporación de aditivos. Esta distinción establece criterios técnicos para seleccionar rutas de síntesis conforme a las propiedades requeridas en las aplicaciones industriales, sin atribuir a un único proceso las mejoras térmicas y tribológicas de las formulaciones obtenidas.

El desarrollo de biolubricantes agrícolas requiere estudios comparativos bajo condiciones experimentales equivalentes que integren la evaluación térmica, oxidativa y tribológica. La aplicación de métodos normalizados permitirá establecer parámetros de selección de materias primas y procesos químicos para el diseño de lubricantes de origen renovable como alternativas a los derivados del petróleo.

Declaraciones editoriales

Financiamiento

La investigación no recibió financiamiento externo de instituciones públicas o privadas.

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses relacionados con el desarrollo y la publicación del presente artículo.

Contribuciones de autoría

Anthony Leonardo Encalada Obaco: conceptualización, búsqueda bibliográfica y selección documental.

Jordy Wenceslao Jimbo Campoverde: organización de datos, análisis documental e interpretación de resultados.

Valeria Viviana Vera Lavayen: síntesis de información, redacción, revisión y edición del manuscrito.

Jorge Tomas Holguin Anzule (colaborador): asesoramiento académico, orientación metodológica y revisión científica del manuscrito.

Disponibilidad de datos

Los datos utilizados en la investigación proceden de publicaciones científicas y de los registros bibliográficos recuperados de Scopus. La matriz de revisión documental se encuentra disponible previa solicitud al autor de correspondencia.

Referencias

ADDIN ZOTERO_BIBL {"uncited":[],"omitted":[],"custom":[]} CSL_BIBLIOGRAPHY Abdullah, B. M., & Ali, R. H. M. (2026). Polyol synthesis utilizing oxirane ring opening reaction for biolubricant application. *Vietnam Journal of Science and Technology*, *64*(5), 887-899. https://doi.org/10.15625/2525-2518/19112

Avilés, M.-D., Bermúdez, M.-D., Caparrós, T., Mostaza, P., & Carrión-Vilches, F. J. (2026). Friction and Wear Performance of Soybean-Based Oils + Protic Ionic Liquid and Graphene Biolubricants. *Tribology Letters*, *74*(4), 106. https://doi.org/10.1007/s11249-026-02188-z

Egbuna, S. O., Nwachukwu, U. J., Agu, C. M., Asadu, C. O., & Okolo, B. (2021). Production of biolubricant samples from palm kernel oil using different chemical modification approaches. *Engineering Reports*, *3*(11), e12422. https://doi.org/10.1002/eng2.12422

Filon, D., Anastopoulos, G., Zannikou, Y., & Karonis, D. (2026). Synthesis and Characterization of Trimethylolpropane Esters via Guanidine Carbonate-Catalyzed Transesterification of Sunflower Oil Methyl Esters. *Lubricants*, *14*(2), 82. https://doi.org/10.3390/lubricants14020082

Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (First edition). McGraw-Hill Education.

Kamal, B., Mishra, A., & Goswami, R. (2026). Sustainable production of bio-based lubricants from agricultural waste: A review. *Next Materials*, *13*, 103054. https://doi.org/10.1016/j.nxmate.2026.103054

Marcelino Aranda, M., Martínez Cuevas, M. del C., & Camacho Vera, A. D. (2024). Análisis documental, un proceso de apropiación del conocimiento. *Revista Digital Universitaria*, *25*(6). https://doi.org/10.22201/ceide.16076079e.2024.25.6.1

Nogales-Delgado, S. (2026). Multivariate Insights into Structure–Property Relationships in Biodiesel and Biolubricants from Vegetable Oils. *Applied Sciences (Switzerland)*, *16*(12), 6049. https://doi.org/10.3390/app16126049

Palinkas, L. A., Horwitz, S. M., Green, C. A., Wisdom, J. P., Duan, N., & Hoagwood, K. (2015). Purposeful Sampling for Qualitative Data Collection and Analysis in Mixed Method Implementation Research. *Administration and Policy in Mental Health and Mental Health Services Research*, *42*(5), 533-544. https://doi.org/10.1007/s10488-013-0528-y

Pazoki, M., Sharafi, M., Khoshrou, A., Azizmoradi, S., & Dehghanisoufi, M. (2026). High-yield biolubricant synthesis from waste cooking oil employing optimized dual-step transesterification. *Industrial Crops and Products*, *253*, 124555. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2026.124555

Rajwani, S., & Yadav, P. K. S. (2020). *Chemical Modification of Dehydrated Castor Oil for Synthesis of Biolubricant* (SSRN Scholarly Paper No. 3701154). Social Science Research Network. https://doi.org/10.2139/ssrn.3701154

Ribeiro, D. C. M., Serra, A. C., Coelho, J., & Ramalho, A. L. (2026). A biolubricant based on epoxidized soybean oil modified with aminoalcohols for enhanced tribological performance. *Fuel*, *403*, 136092. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2025.136092

Robles Molina, E. A., Liu, J., & Mosier, N. S. (2026). Effects of fatty acid profile on tailoring vegetable oils-based biolubricants for machinery greases. *Results in Engineering*, *32*, 113195. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2026.113195