Research Club Scientia Vol. 4, No 4
Frecuencia: Octubre–Diciembre 2026
ISSN: 3103 - 1315
DOI: https://doi.org/10.65415/c13bn784

Formulación de biolubricantes híbridos mediante la combinación de aceites de cocina usados (ACU) y lípidos de biomasa agrícola: una revisión documental

Formulation of hybrid biolubricants by combining used cooking oils (UCO) and lipids from agricultural biomass: a literature review

Formulazione di biolubrificanti ibridi mediante la combinazione di oli da cucina usati e lipidi da biomassa agricola: una rassegna della letteratura

Fiorella Corina Alay Salgado[I]
falays@unemi.edu.ec
ORCID: https://orcid.org/0009-0001-4671-7475
Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera Ingeniería Industrial, Universidad Estatal de Milagro, Ecuador

Elkin William Torres Veliz[I]
etorresv11@unemi.edu.ec
ORCID: https://orcid.org/0009-0008-5911-6995
Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera Ingeniería Industrial, Universidad Estatal de Milagro, Ecuador

Carol Gislayne Vélez Sarcos[I]
cvelezs4@unemi.edu.ec
ORCID: https://orcid.org/0009-0006-9211-3097
Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera Ingeniería Industrial, Universidad Estatal de Milagro, Ecuador

Denisse Mabel Villavicencio Macías[I]
dvillavicenciom2@unemi.edu.ec
ORCID: https://orcid.org/0009-0008-1531-0227
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: cvelezs4@unemi.edu.ec

***Aceptado:** 26, Noviembre, 2026 *** Publicado:** 27, Noviembre, 2026

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

.

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo analizar la evidencia científica sobre las propiedades fisicoquímicas y tribológicas de biolubricantes de origen residual, con énfasis en los aceites de cocina usados (ACU) y los materiales agrícolas. La investigación adoptó un enfoque cualitativo, diseño documental y alcance descriptivo, mediante la revisión de publicaciones indexadas en Scopus durante el período 2021–2026. El análisis bibliométrico abarcó 3.030 documentos, mientras que la depuración y el cribado preliminar se efectuaron sobre 3.012 registros exportados. La selección documental y las búsquedas complementarias permitieron incluir siete estudios experimentales. Los resultados documentaron índices de acidez entre 0,40 y 0,46 mg KOH/g en formulaciones derivadas de ACU. La incorporación de 0,15 % de TiO_2 en masa redujo el coeficiente de fricción de 0,231 a 0,131 y la tasa específica de desgaste en un 56,6 %. Una formulación acuosa con 2 % de hemicelulosa agrícola presentó una reducción aproximada del 50 % en fricción. La revisión identificó criterios fisicoquímicos y tribológicos para futuras formulaciones híbridas de ACU y extractos cerosos agrícolas, cuya compatibilidad, estabilidad y proporciones de mezcla requieren validación experimental.

Palabras clave: Biolubricantes; aceites de cocina usados; biomasa agrícola; propiedades fisicoquímicas; comportamiento tribológico.

Abstract

The objective of this study was to analyze scientific evidence on the physicochemical and tribological properties of waste-derived biolubricants, with particular emphasis on used cooking oils (UCO) and agricultural materials. The research adopted a qualitative approach, a documentary design, and a descriptive scope through a review of publications indexed in Scopus between 2021 and 2026. The bibliometric analysis covered 3,030 documents, whereas data cleaning and preliminary screening were performed on 3,012 exported records. The document selection process and supplementary searches led to the inclusion of seven experimental studies. The results documented acid values ranging from 0.40 to 0.46 mg KOH/g in UCO-derived formulations. The addition of 0.15 wt% TiO_2 reduced the coefficient of friction from 0.231 to 0.131 and the specific wear rate by 56.6%. A water-based formulation containing 2% agricultural hemicellulose achieved an approximate 50% reduction in friction. The review identified physicochemical and tribological criteria for future hybrid formulations based on UCO and agricultural wax extracts, whose compatibility, stability, and blending proportions require experimental validation.

Keywords: Biolubricants; used cooking oils; agricultural biomass; physicochemical properties; tribological behavior.

Riassunto

Lo studio ha analizzato le evidenze scientifiche sulle proprietà fisicochimiche e tribologiche dei biolubrificanti ottenuti da residui, con particolare attenzione agli oli da cucina usati e ai materiali di origine agricola. La ricerca ha adottato un approccio qualitativo, un disegno documentale e un obiettivo descrittivo, attraverso una revisione di pubblicazioni indicizzate in Scopus tra il 2021 e il 2026. L'analisi bibliometrica ha riguardato 3.030 documenti, mentre la pulizia dei dati e la selezione preliminare hanno interessato 3.012 record esportati. La selezione documentale e le ricerche integrative hanno portato all'inclusione di sette studi sperimentali. Nelle formulazioni derivate da oli da cucina usati, l'indice di acidità variava da 0,40 a 0,46 mg KOH/g. L'aggiunta dello 0,15% in massa di TiO_2 ha ridotto il coefficiente di attrito da 0,231 a 0,131 e il tasso di usura specifico del 56,6%. Una formulazione a base acquosa con il 2% di emicellulosa di origine agricola ha ridotto l'attrito di circa il 50%. La revisione ha identificato criteri fisicochimici e tribologici per future formulazioni ibride a base di oli da cucina usati ed estratti di cere agricole. La compatibilità, la stabilità e le proporzioni di miscelazione richiedono una validazione sperimentale.

Parole chiave: biolubrificanti; oli da cucina usati; biomassa agricola; proprietà fisicochimiche; comportamento tribologico.

1. Introducción

La búsqueda de alternativas a los lubricantes derivados del petróleo ha impulsado el aprovechamiento de materias primas renovables y residuos lipídicos para aplicaciones industriales. Los aceites vegetales presentan propiedades de lubricidad y biodegradabilidad, aunque su estabilidad oxidativa, viscosidad y comportamiento térmico dependen de la composición de ácidos grasos y de las modificaciones aplicadas durante su procesamiento (Sancheti & Yadav, 2022).

Los aceites de cocina usados (ACU) constituyen una fuente de materia prima residual para la producción de biolubricantes. La exposición repetida a temperaturas elevadas modifica su composición, polaridad y acidez, factores que influyen en su comportamiento como base lubricante. Una revisión sistemática de 22 estudios experimentales identificó diferencias en las propiedades de grasas y lubricantes líquidos derivados de ACU, con coeficientes de fricción que alcanzaron valores mínimos de 0,0253 y diámetros de huella de desgaste de 467 µm bajo condiciones específicas de ensayo (Hairunnaja et al., 2026).

La incorporación de etilcelulosa y montmorillonita modificada en un lubricante obtenido a partir de ACU permitió alcanzar viscosidades cinemáticas de 200,3 mm^2/s a 40 °C y 28,3 mm^2/s a 100 °C, además de un coeficiente de fricción de 0,081 (Wang et al., 2025). El aprovechamiento de materiales cerosos constituye otra alternativa para modificar las propiedades de las formulaciones

lubricantes. Mediante procesos de epoxidación e hidrólisis de ACU se obtuvo una cera con un contenido de ácidos grasos del 96,41 % y un intervalo de fusión de 44 a 53 °C (Liu et al., 2022). En formulaciones elaboradas con aceites de soya y algodón, la incorporación del 3 % de cera procedente de la cachaza de caña de azúcar presentó características favorables de fricción y desgaste bajo las condiciones evaluadas (Hailu et al., 2025).

Las investigaciones previas han examinado las modificaciones químicas de los ACU y la incorporación de materiales cerosos en distintas bases lubricantes. Sin embargo, la evidencia revisada es insuficiente para determinar la influencia de sus proporciones en formulaciones híbridas. La combinación de estos materiales adquiere relevancia por el aprovechamiento simultáneo de residuos lipídicos y agrícolas. El aporte de la revisión radica en la integración de criterios fisicoquímicos y tribológicos para la evaluación experimental de estas formulaciones.

El objetivo del presente estudio es analizar la evidencia científica sobre las propiedades fisicoquímicas y tribológicas de biolubricantes de origen residual, con énfasis en los ACU y los materiales agrícolas.

A partir del vacío de conocimiento identificado, se plantea la siguiente interrogante: ¿Qué evidencia científica existe sobre las propiedades fisicoquímicas y tribológicas de los biolubricantes derivados de ACU y materiales agrícolas, y qué criterios técnicos aporta para el desarrollo de formulaciones híbridas con extractos cerosos agrícolas?

2. Metodología

El estudio adoptó un enfoque cualitativo, diseño documental y alcance descriptivo para examinar las propiedades fisicoquímicas y tribológicas de los biolubricantes de origen residual (Hernández & Mendoza, 2018). La técnica empleada fue el análisis documental, que permite identificar, evaluar y organizar información científica según categorías de análisis (Bowen, 2009).

La búsqueda bibliográfica se realizó en Scopus mediante el campo TITLE-ABS-KEY (títulos, resúmenes y palabras clave), con los operadores booleanos AND y OR y el truncamiento mediante asteriscos. Se delimitó el período de publicación entre 2021 y 2026, sin restricciones iniciales por idioma ni tipo documental. Los registros bibliográficos se exportaron en formato CSV el 23 de noviembre de 2026. La ecuación de búsqueda utilizada fue:

TITLE-ABS-KEY (("waste cooking oil" OR "used cooking oil" OR "waste frying oil" OR "used frying oil" OR "recycled cooking oil" OR "waste vegetable oil" OR "spent cooking oil" OR "vegetable oil" OR "plant oil" OR "non-edible oil" OR "agricultural waste" OR "agro-industrial waste" OR "agricultural residue" OR "agroindustrial residue" OR "biomass residue" OR "lignocellulosic biomass" OR "plant wax" OR "vegetable wax" OR "natural wax" OR "agricultural wax" OR "bio-wax" OR "biowax" OR "sugarcane wax" OR "rice bran wax" OR "carnauba wax"

OR "sunflower wax" OR "candelilla wax" OR "cuticular wax" OR "waste-derived wax" OR "biomass-derived wax") AND (biolubricant* OR "bio-lubricant*" OR "bio based lubricant*" OR "bio-based lubricant*" OR "biodegradable lubricant*" OR "green lubricant*" OR "sustainable lubricant*" OR "vegetable oil lubricant*" OR "biogrease*" OR "bio-grease*" OR "lubricating grease*" OR "lubricant formulation*" OR "lubricating oil*" OR "tribological propert*" OR tribolog* OR lubricat* OR "friction reduction" OR "wear resistance" OR "antiwear" OR "anti-wear" OR "viscosity index" OR "oxidative stability" OR "acid value" OR "acid number")) AND PUBYEAR > 2020 AND PUBYEAR < 2027

Durante la depuración se conservaron los artículos científicos y las revisiones. La selección definitiva se delimitó a investigaciones experimentales en español o inglés, conforme a los criterios establecidos en la Tabla 1.

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

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Artículos científicos publicados entre 2021 y 2026.	Publicaciones fuera del período establecido.
Estudios relacionados con ACU, extractos cerosos agrícolas y componentes utilizados en biolubricantes.	Investigaciones ajenas a las materias primas o aplicaciones lubricantes estudiadas.
Investigaciones sobre propiedades fisicoquímicas o tribológicas pertinentes al objetivo.	Documentos que no aporten información sobre las propiedades examinadas.
Estudios con métodos y resultados experimentales verificables.	Publicaciones sin información suficiente para el análisis comparativo.
Artículos en español o inglés.	Registros duplicados.

Nota: Elaboración propia.

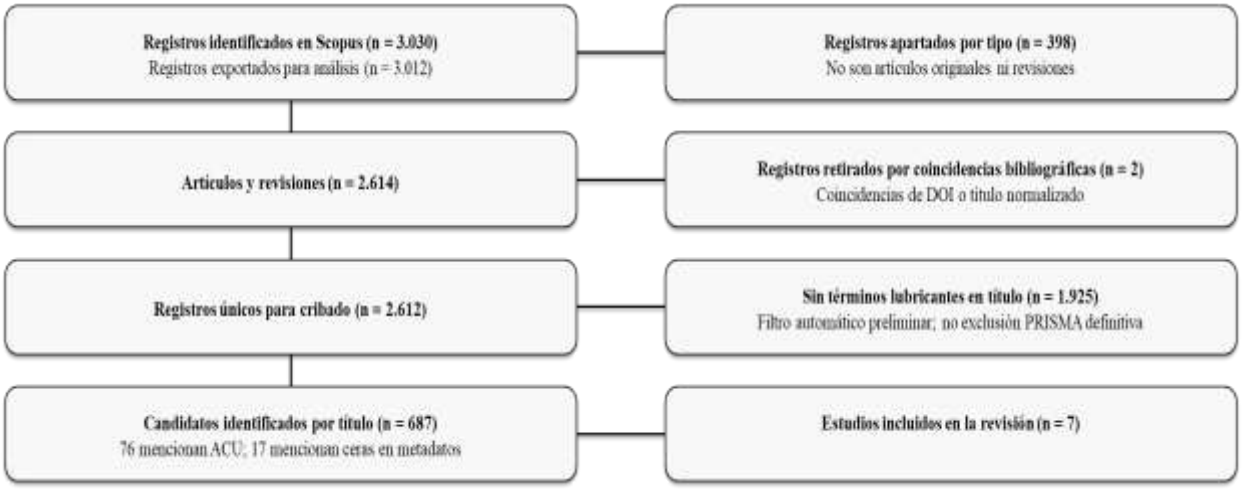
La búsqueda complementaria en Scopus se orientó a la identificación de publicaciones relacionadas con la combinación de ACU y materiales cerosos en formulaciones lubricantes, mediante la siguiente ecuación:

TITLE-ABS-KEY (("waste cooking oil" OR "used cooking oil" OR "waste vegetable oil") AND ("biolubricant" OR "bio-lubricant" OR "biogrease" OR "bio-based grease" OR "lubricating grease") AND ("wax" OR "agricultural wax" OR "plant wax" OR "natural wax" OR "sugarcane wax" OR "filter cake wax" OR "thickener")) AND PUBYEAR > 2020 AND PUBYEAR < 2027

3. Resultados

La consulta en Scopus registró 3.030 documentos en el módulo Analyze Results, mientras que el archivo CSV exportado el 23 de noviembre de 2026 contenía 3.012 registros. El origen técnico de la discrepancia de 18 documentos no pudo determinarse. El análisis bibliométrico abarcó los 3.030 documentos, mientras que la depuración y el cribado preliminar se efectuaron sobre los registros exportados.

Figura 1. **Diagrama de flujo del proceso de selección de estudios científicos**



Nota: El diagrama representa las etapas principales del proceso de selección documental. Los siete estudios incluidos proceden del cribado preliminar, la revisión manual complementaria y las búsquedas bibliográficas previas. Elaboración propia. Fuente: (Page et al., 2021).

Proceso de selección documental

De los 3.012 registros exportados, se apartaron 398 documentos por no corresponder a artículos científicos ni revisiones. Entre los 2.614 registros restantes se identificaron dos coincidencias bibliográficas: una por identidad del DOI y otra por coincidencia del título y similitud del contenido experimental, pese a presentar identificadores DOI diferentes. Tras esta depuración se conservaron 2.612 publicaciones para el cribado.

El cribado preliminar se registró en una matriz documental que incluyó el título, año de publicación, DOI, tipo documental, resumen e indicadores de pertinencia temática. El filtro automático por título identificó 687 publicaciones candidatas y 1.925 registros no detectados mediante este procedimiento. Dentro del grupo de candidatos, 76 publicaciones presentaron menciones de ACU y 17 de materiales cerosos, correspondientes a categorías temáticas no excluyentes. La ausencia de términos asociados a lubricantes en el título no constituyó un criterio definitivo de exclusión.

La selección definitiva consideró la revisión manual de los registros bibliográficos y la consulta de publicaciones recuperadas en búsquedas complementarias en Scopus. Los motivos de exclusión correspondieron a la falta de pertinencia respecto a las materias primas estudiadas, la ausencia de aplicaciones lubricantes y la insuficiencia de resultados experimentales sobre las propiedades fisicoquímicas o tribológicas. No se dispone de un registro individualizado que permita determinar la cantidad de publicaciones excluidas por cada criterio.

De los siete estudios incluidos en la síntesis documental, cinco procedieron del grupo de 687 publicaciones candidatas, uno de los 1.925 registros no detectados mediante el filtro por título y uno de las búsquedas bibliográficas complementarias realizadas en Scopus.

Tabla 2. Distribución de registros según las etapas de selección documental en Scopus

Etapa de selección	Cantidad de registros
Registros identificados en Scopus	3.030
Registros exportados para análisis documental	3.012
Registros apartados por tipo documental	398
Artículos científicos y revisiones	2.614
Registros retirados por coincidencias bibliográficas	2
Registros conservados para el cribado	2.612
Registros sin términos asociados a lubricantes en el título	1.925
Publicaciones candidatas identificadas por título	687
Publicaciones candidatas con menciones de ACU	76
Publicaciones candidatas con menciones de ceras	17

Etapa de selección	Cantidad de registros
Estudios seleccionados del grupo de candidatos	5
Estudios recuperados mediante revisión manual complementaria	1
Estudios recuperados de búsquedas bibliográficas previas	1
Estudios incluidos en la síntesis de resultados	7

Nota: Elaboración propia.

Caracterización de los estudios incluidos

Tabla 3. Caracterización general de los estudios científicos incluidos en la revisión

Autor y año	País	Base de datos y revista	Tipo de estudio y enfoque metodológico	Muestra o contexto experimental
Al Jabri et al. (2022)	Irán	Scopus / Iranian Polymer Journal	Experimental, cuantitativo	Aceites de jojoba, semilla de dátil y ACU modificados con copolímero EVA.
Nurulita et al. (2024)	Indonesia	Scopus / Results in Engineering	Experimental, cuantitativo	Formulación de ACU con aceite de *Calophyllum inophyllum*.
Molenda et al. (2025)	Polonia	Scopus / Wear	Experimental, cuantitativo	Grasas lubricantes con biocarbón procedente de residuos de trigo y lino.

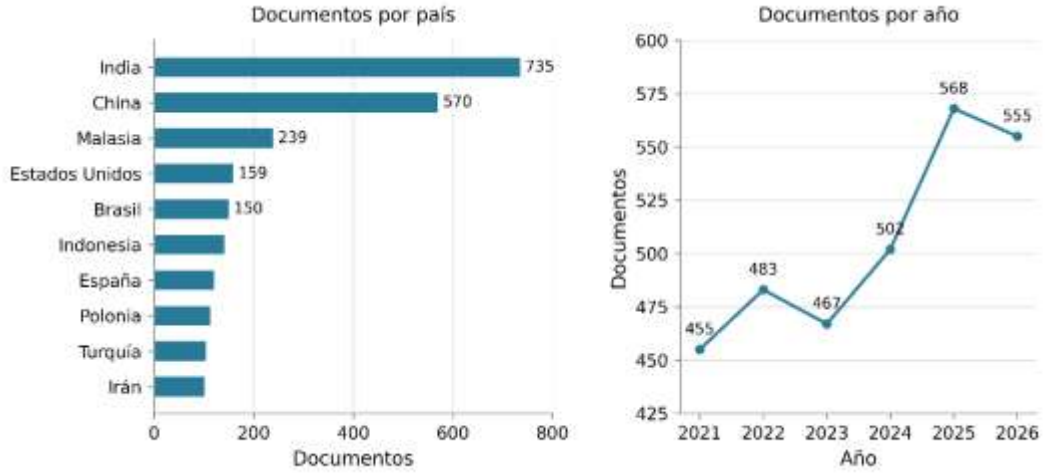
Autor y año	País	Base de datos y revista	Tipo de estudio y enfoque metodológico	Muestra o contexto experimental
Riayatsyah et al. (2025)	Australia	Scopus / Results in Engineering	Experimental, cuantitativo	Ésteres lubricantes derivados de ACU.
Xie et al. (2025)	China	Scopus / Carbohydrate Polymer Technologies and Applications	Experimental, cuantitativo	Lubricante acuoso con hemicelulosa obtenida de residuos agrícolas.
Ambarwati et al. (2026)	Nigeria	Scopus / Tribology in Industry	Experimental, cuantitativo	Lubricante derivado de ACU con TiO_2, evaluado sobre aluminio 6061.
Pazoki et al. (2026)	Irán	Scopus / Industrial Crops and Products	Experimental, cuantitativo	Biolubricantes derivados de ACU mediante transesterificación.

Nota: Elaboración propia.

La Tabla 3 reúne siete estudios experimentales de enfoque cuantitativo, publicados entre 2022 y 2026 en seis revistas indexadas en Scopus. Cinco examinaron formulaciones derivadas de ACU y dos evaluaron aditivos de origen agrícola, específicamente biocarbón y hemicelulosa.

Distribución temporal y geográfica de la producción científica

Figura 2. Distribución temporal y geográfica de la producción científica registrada



Nota: 3.030 documentos registrados en el módulo Analyze Results de Scopus. Elaboración propia.

La Figura 2 muestra un incremento de la producción científica de 455 documentos en 2021 a 568 en 2025, con 555 registros hasta el 23 de noviembre de 2026. El período 2024–2026 concentró el 53,6 % de las publicaciones. India (735), China (570) y Malasia (239) registraron las mayores frecuencias, seguidas por Estados Unidos (159) y Brasil (150) entre los países representados.

Categorías temáticas

Tabla 4. Clasificación de la producción científica según categorías temáticas en Scopus

Categoría temática	Áreas incluidas	Asignaciones temáticas
Ingeniería y procesos industriales	Ingeniería (983); Ingeniería Química (585)	1.568
Química y materiales	Química (768); Ciencias de los Materiales (748)	1.516
Ciencias agrícolas y biológicas	Ciencias Agrícolas y Biológicas (881); Bioquímica, Genética y Biología Molecular (272); Inmunología y Microbiología (99)	1.252

Categoría temática	Áreas incluidas	Asignaciones temáticas
Energía y medioambiente	Energía (459); Ciencias Ambientales (395); Ciencias de la Tierra y Planetarias (72)	926
Ciencias físicas y tecnológicas	Física y Astronomía (384); Ciencias de la Computación (117); Matemáticas (83)	584
Ciencias de la salud	Farmacología, Toxicología y Farmacia (121); Medicina (71); Profesiones Sanitarias (60); Enfermería (38); Veterinaria (16); Odontología (3)	309
Ciencias sociales y económicas	Ciencias Sociales (91); Negocios, Administración y Contabilidad (75); Ciencias de la Decisión (23); Economía, Econometría y Finanzas (11); Artes y Humanidades (8)	208
Multidisciplinaria	Multidisciplinaria (75)	75
Total	25 áreas temáticas	6.438

Nota: Elaboración propia.

La clasificación temática registró 6.438 asignaciones en 25 áreas del conocimiento, agrupadas en ocho categorías. Esta cantidad responde a la clasificación múltiple de las publicaciones en Scopus. Ingeniería y procesos industriales (1.568), Química y materiales (1.516) y Ciencias agrícolas y biológicas (1.252) concentraron el 67,4 % de las asignaciones.

Síntesis de hallazgos

Tabla 5. Síntesis de los resultados experimentales de los estudios seleccionados

Autor y año	Formulación o tratamiento	Principales hallazgos
Al Jabri et al. (2022)	Aceites de jojoba, semilla de dátil y ACU modificados con copolímero EVA.	Evaluación de la viscosidad cinemática y estabilidad térmica de los aceites modificados.

Autor y año	Formulación o tratamiento	Principales hallazgos
Nurulita et al. (2024)	ACU combinado con aceite de *Calophyllum inophyllum* mediante calentamiento infrarrojo.	Acidez: 0,46 mg KOH/g; viscosidad cinemática: 83,46 mm²/s a 40 °C; índice de viscosidad: 216,32. Las mezclas con lubricante comercial SAE 15W-40 presentaron coeficientes de fricción de 0,071–0,1091 y diámetros de huella de desgaste de 0,100–0,140 mm.
Molenda et al. (2025)	Grasas lubricantes con 3 % y 5 % de biocarbón de residuos de trigo y lino.	Evaluación de cuatro formulaciones de consistencia NLGI 2 mediante ensayos de fricción y desgaste.
Riayatsyah et al. (2025)	Éster de trimetilolpropano derivado de ACU.	Rendimiento: 96,12 %; acidez: 0,40 mg KOH/g; viscosidad: 41,55 mm²/s a 40 °C; fricción: 0,045; huella de desgaste: 0,632 mm.
Xie et al. (2025)	Lubricante acuoso con 2 % de hemicelulosa obtenida de residuos agrícolas.	Reducción aproximada del 50 % en fricción y de diez veces en desgaste; lubricación efectiva hasta 100 N.
Ambarwati et al. (2026)	Biolubricante de ACU con 0,15 % de TiO_2 en masa.	Fricción: de 0,231 a 0,131; tasa específica de desgaste: de 0,000341 a 0,000148 mm³/(N·m).
Pazoki et al. (2026)	ACU transformado mediante transesterificación en dos etapas.	Rendimiento: 84 %; acidez: 0,42 mg KOH/g; índice de viscosidad: 197,4; estabilidad oxidativa: 12,62 h.

Nota: Elaboración propia.

La Tabla 5 presenta índices de acidez entre 0,40 y 0,46 mg KOH/g en formulaciones derivadas de ACU. Los tratamientos con TiO_2 y hemicelulosa registraron reducciones de fricción y desgaste bajo condiciones experimentales diferentes.

Vacíos identificados

Ninguno de los siete estudios seleccionados examinó directamente formulaciones híbridas de ACU y extractos cerosos agrícolas en proporciones definidas. La evidencia experimental se concentró en modificaciones químicas de aceites residuales y en la incorporación de aditivos de distinta naturaleza. Los aspectos pendientes de evaluación corresponden a la influencia de la composición de estas mezclas sobre la acidez, la viscosidad, la estabilidad coloidal, la fricción, el desgaste y la capacidad de carga.

4. Discusión

La evidencia científica analizada muestra que el desempeño de los biolubricantes de origen residual depende tanto de la composición de las materias primas como de los tratamientos químicos y los aditivos incorporados. Las modificaciones estructurales de los aceites vegetales permiten ajustar sus propiedades lubricantes, aunque persisten restricciones asociadas a la estabilidad oxidativa y térmica (Sancheti & Yadav, 2022). En el caso de los ACU, la diversidad de formulaciones y condiciones experimentales dificulta establecer criterios uniformes de desempeño (Hairunnaja et al., 2026).

El índice de acidez y la viscosidad constituyen parámetros relevantes para el acondicionamiento de las bases lubricantes. La combinación de ACU con aceite de *Calophyllum inophyllum* registró una acidez de 0,46 mg KOH/g y un índice de viscosidad de 216,32 (Nurulita et al., 2024). La transesterificación en dos etapas permitió obtener una acidez de 0,42 mg KOH/g y una estabilidad oxidativa de 12,62 h (Pazoki et al., 2026). La proximidad entre los valores de acidez no implica equivalencia en la estabilidad química, debido a las diferencias entre las materias primas y los tratamientos aplicados.

El comportamiento tribológico presenta una relación directa con la naturaleza del aditivo y las características del medio lubricante. La incorporación de nanopartículas de TiO_2 en ACU redujo la fricción y el desgaste sobre superficies de aluminio 6061 (Ambarwati et al., 2026). La hemicelulosa de origen agrícola presentó efectos similares en un sistema de lubricación acuosa (Xie et al., 2025). Aunque ambos tratamientos mostraron efectos antidesgaste, sus resultados no son directamente comparables por las diferencias entre las bases lubricantes, los materiales de contacto y las condiciones de ensayo.

Los hallazgos coinciden con investigaciones previas que atribuyen a los aditivos una función modificadora de las propiedades lubricantes. El biocarbón procedente de residuos de trigo y lino se estudió como componente antidesgaste en grasas lubricantes (Molenda et al., 2025). La incorporación de cera recuperada de la cachaza de caña de azúcar en aceites de soya y algodón también presentó resultados favorables de fricción y desgaste (Hailu et al., 2025). La diferencia

entre estos materiales radica en su naturaleza química y funcional, por lo que sus efectos no pueden extrapolarse directamente a mezclas de ACU y extractos cerosos agrícolas.

Las implicaciones técnicas de la revisión se relacionan con el control de la viscosidad, la compatibilidad entre componentes y la estabilidad de las formulaciones híbridas. La modificación de aceites residuales con copolímeros permite ajustar su comportamiento viscoso y térmico (Al Jabri et al., 2022). La obtención de ceras mediante la transformación química de ACU amplía las posibilidades de valorización de residuos lipídicos (Liu et al., 2022). La evaluación de futuras formulaciones requiere ensayos bajo condiciones equivalentes y criterios ambientales asociados al consumo energético, uso de reactivos, generación de residuos secundarios y biodegradabilidad.

El uso exclusivo de Scopus, la inclusión de siete estudios experimentales y la ausencia de un registro individualizado de exclusiones limitaron la cobertura y trazabilidad documental. La heterogeneidad de las materias primas, concentraciones y condiciones de ensayo restringió la comparación cuantitativa. Las futuras investigaciones deberán examinar mezclas de ACU y extractos cerosos agrícolas en proporciones definidas, con protocolos experimentales que permitan evaluar su estabilidad fisicoquímica y desempeño tribológico.

Respecto a la pregunta de investigación, la evidencia disponible proporciona referencias experimentales sobre acidez, viscosidad, estabilidad oxidativa, fricción y desgaste. El aporte de la revisión consiste en integrar estos parámetros con criterios complementarios de compatibilidad química, estabilidad coloidal y capacidad de carga para el estudio de biolubricantes híbridos. La influencia de las proporciones de mezcla sobre estas propiedades permanece sujeta a validación experimental.

5. Conclusiones

Las propiedades fisicoquímicas y tribológicas de los biolubricantes de origen residual dependen de las materias primas, los tratamientos químicos y los aditivos empleados. Los estudios seleccionados documentaron índices de acidez entre 0,40 y 0,46 mg KOH/g en formulaciones derivadas de ACU, además de reducciones de fricción y desgaste mediante distintos aditivos.

El biocarbón y la hemicelulosa presentaron aplicaciones diferenciadas en sistemas de lubricación. La heterogeneidad experimental impidió establecer equivalencias cuantitativas entre los resultados. Ninguno de los siete estudios evaluó directamente mezclas de ACU y extractos cerosos agrícolas en proporciones definidas.

La revisión documental integró criterios técnicos para futuras formulaciones híbridas, entre ellos la acidez, viscosidad, estabilidad oxidativa y coloidal, compatibilidad entre componentes, fricción, desgaste y capacidad de carga. La determinación de las proporciones de mezcla y su desempeño lubricante requiere validación experimental.

Declaraciones Editoriales

Conflicto de Intereses

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

Financiamiento

La investigación no recibió financiamiento externo de instituciones públicas, privadas ni organismos de cooperación.

Contribución de los autores

Los autores participaron en la conceptualización del estudio, la búsqueda bibliográfica, la selección documental, el análisis e interpretación de los resultados, la redacción y la revisión crítica del manuscrito. Todos los autores aprobaron la versión final del artículo.

Disponibilidad de datos

Los datos utilizados en la investigación proceden de publicaciones científicas indexadas en Scopus. Los registros bibliográficos exportados, la matriz de cribado preliminar y los datos del análisis bibliométrico se encuentran disponibles en la plataforma de búsqueda sujetada a las condiciones de acceso y uso de la base de datos.

Referencias

Al Jabri, H., Khan, S., Das, P., Thaher, M. I., & Quadir, M. A. (2022). Effect of ethylene–vinyl acetate copolymer on kinematic viscosity and thermal stability of jojoba, date seed, and waste cooking oils in lubricant applications. *Iranian Polymer Journal*, *31*(3), 261-273. https://doi.org/10.1007/s13726-021-00991-0

Ambarwati, D., Puspitasari, P., Dwi Pramono, D., Kozin, M., Elisha Nyamasvisva, T., & Dauda Muhammad, I. (2026). Tribological Characteristics of Cooking Oil Waste-Based Lubricants with TiO2 Nano Powder Additives on Aluminum 6061. *Tribology in Industry*, *48*(2), 294-308. https://doi.org/10.24874/ti.2049.10.25.02

Bowen, G. A. (2009). Document Analysis as a Qualitative Research Method. *Qualitative Research Journal*, *9*(2), 27-40. https://doi.org/10.3316/QRJ0902027

Hailu, H. N., Remedios, P. D., Daniel, N., & Ancha, V. R. (2025). Tribological investigation of blended vegetable oil (soybean & cottonseed) as alternative raw material to produce Bio-grease with sugarcane filter cake wax additive. *Tribologia - Finnish Journal of Tribology*, *42*(1–2), 35-44. https://doi.org/10.30678/fjt.156573

Hairunnaja, M. A., Alazemi, A. A., & Aziz, M. A. A. (2026). From Waste to Lubrication Resource: A Systematic Review of Waste Cooking Oil-Based Greases and Liquid Lubricants. *Lubricants*, *14*(7), 260. https://doi.org/10.3390/lubricants14070260

Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas: cuantitativa ,cualitativa y mixta*. https://hdl.handle.net/20.500.14624/1206

Liu, Y., Liu, M.-Y., Qi, Y.-X., Jin, X.-Y., Xu, H.-R., Chen, Y., Chen, S., & Su, H. (2022). Synthesis and properties of wax based on waste cooking oil. *RSC Advances*, *12*(6), 3365-3371. https://doi.org/10.1039/d1ra08874b

Molenda, J., Makowska, M., Kubacki, J., Sikora, M., Łuszcz, M., & Osuch-Słomka, E. (2025). Investigation of the chemical structure and antiwear performance of biochar used as a grease additive. *Wear*, *576-577*, 206143. https://doi.org/10.1016/j.wear.2025.206143

Nurulita, B., Nur, T. B., Silitonga, A. S., Riayatsyah, T. M. I., Deswita, Kalam, M. A., Zulkifli, N. W. M., Sebayang, A. H., Siahaan, S., & Alfansury, M. (2024). Novel biolubricant synthesis: Enhancing the composition of used cooking oil and *Callophyllum inophyllum* oil by utilizing infrared heating method. *Results in Engineering*, *24*, 103343. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103343

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., … Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, *372*, n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

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

Riayatsyah, T. M. I., Silitonga, A. S., Kalam, M. A., & Fattah, I. M. R. (2025). Optimisation of trimethylolpropane ester synthesis from waste cooking oil methyl ester by response surface methodology, and its physicochemical properties and tribological characteristics. *Results in Engineering*, *25*, 104055. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.104055

Sancheti, S. V., & Yadav, G. D. (2022). Synthesis of environment-friendly, sustainable, and nontoxic bio-lubricants: A critical review of advances and a path forward. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, *16*(5), 1172-1195. https://doi.org/10.1002/bbb.2380

Wang, S., Wang, H., Wang, Z., Hou, T., Zhang, K., Lv, Z., Zhao, G., Sun, H., Li, W., & Hao, Y. (2025). Biobased Lubricating Oil Prepared from Ethyl Cellulose/Montmorillonite Additives and Waste Cooking Oil. *Lubricants*, *13*(9), 417. https://doi.org/10.3390/lubricants13090417

Xie, M., Li, Z., He, H., Liang, Y., Yan, X., & Ji, J. (2025). Evaluation of natural hemicellulose additive from waste resource of Lanzhou lily for eco-friendly water-based lubricant. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, *12*, 101008. https://doi.org/10.1016/j.carpta.2025.101008