

Obtención de biodiésel y glicerina a partir de aceite posconsumo vegetal como una alternativa para la disminución de la huella de carbono

Robinson Andrés Mancilla Estupiñán^{1,2,3a} ; Javier Alberto Sanabria Cala^{2,4,5,6} ; Alfonso Vázquez Atochero¹ ; Diego Andrés Alonso Rueda² 

¹Universidad Americana de Europa, Cancún, México.

²Grupo Ambiental de Investigación Aplicada, Universidad de Santander, Colombia.

³Institución Educativa las Américas, Bucaramanga, Colombia.

⁴Colegio Integrado San Antonio, California, Colombia.

⁵Grupo de investigaciones en Corrosión, Universidad Industrial de Santander, Colombia.

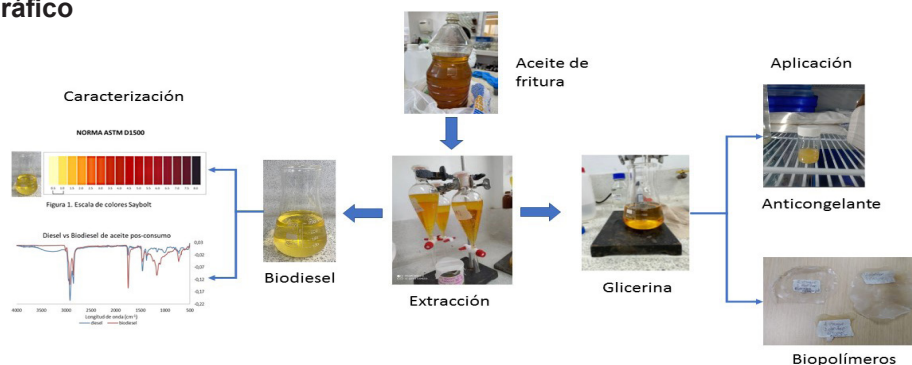
⁶Instituto Valle del Río de Oro, Piedecuesta, Santander.

^aing.petro.robinson@gmail.com

Fecha recepción: 1 de marzo 2025

Fecha aceptación: 19 de agosto de 2025

Resumen gráfico



Puntos clave

1. El aceite vegetal posconsumo puede transformarse en biodiésel sostenible.
2. La transesterificación permite obtener biodiésel y glicerina de calidad.
3. Los subproductos valorizan residuos y fomentan economía circular local.

Resumen

El uso de aceite vegetal en frituras altera sus propiedades fisicoquímicas, especialmente los triglicéridos, lo cual aumenta su potencial para causar problemas de salud como el cáncer. La disposición inadecuada de este aceite se ha convertido en una de las principales causas de contaminación del agua, ya que contamina aproximadamente 40 000 litros por cada litro de aceite vertido. Para abordar este problema, se implementó una alternativa basada en el uso de un aceite vegetal posconsumo obtenido de la cafetería de la Institución Educativa Las Américas de Bucaramanga, Santander, para la producción de biodiésel, bioplásticos y anticongelante a partir de la glicerina como subproductos. El biodiésel se obtuvo mediante transesterificación a 50 - 60 °C con NaOH y metanol, con un tiempo de reacción entre 15 minutos y 1 hora, seguido de purificación, lavado y secado de los productos. El biodiésel resultante presentó una densidad de 0,89 g/mL, un color amarillo claro (entre 0,5 y 1,0 en la escala Saybolt) y un pH neutro de 7,55. La espectroscopía infrarroja mostró grupos carbonilo y metilo, sin presencia de grupos OH típicos del agua. La glicerina fue obtenida con la misma metodología, en la que se empleó un tiempo de reacción de una hora, y presentó como resultados un pH de 6,9 y un espectro FTIR sin grupos fenólicos, similar a la glicerina comercial. Además, el anticongelante producido no presentó cristalización de hielo a -2 °C. Finalmente, el bioplástico obtenido a partir de glicerina derivada del aceite vegetal posconsumo presentó propiedades estructurales comparables a las del bioplástico elaborado con una glicerina comercial, según el análisis realizado utilizando un FTIR-ATR. Estos resultados destacan su alto potencial como una alternativa sostenible para la reducción de la contaminación, la valorización de residuos y la promoción de la economía circular en el manejo del aceite vegetal posconsumo.

Palabras clave: Contaminación; Agua; Aceite; Medio Ambiente; Biodiésel; Bioplásticos; Anticongelante.

Cita: Mancilla Estupiñán RA, Sanabria Cala JA, Vázquez Atochero A, Alonso Rueda DA. Obtención de biodiésel y glicerina a partir de aceite posconsumo vegetal como una alternativa para la disminución de la huella de carbono. rev. ion. 2025;38(1):89-99. <https://doi.org/10.18273/revion.v38n1-2025005>

Production of Biodiesel and Glycerin from Post-consumer Vegetable Oil as an Alternative for Reducing the Carbon Footprint

Abstract

The use of vegetable-based oils in frying processes affects their physicochemical properties, particularly the triglyceride structure, thereby it increases their potential to cause health issues such as cancer. Improper disposal of this oil has become one of the leading causes of water pollution, with approximately 40,000 liters of water contaminated per liter of oil discharged. To address this issue, an alternative approach was implemented based on the use of post-consumer vegetable oil collected from the cafeteria of the Institución Educativa Las Américas in Bucaramanga, Santander, to produce biodiesel, bioplastics, and antifreeze derived from glycerol as a byproduct. Biodiesel was produced through transesterification at 50 - 60 °C using NaOH and methanol, with a reaction time ranging from 15 minutes to 1 hour, followed by product purification, washing, and drying. The resulting biodiesel exhibited a density of 0.89 g/mL, a light-yellow coloration (ranging between 0.5 and 1.0 on the Saybolt color scale), and a neutral pH of 7.55. Infrared spectroscopy analysis revealed the presence of carbonyl and methyl groups, with no evidence of OH groups characteristic of water. Glycerol was obtained using the same methodology, with a reaction time of one hour, yielding a pH of 6.9 and an FTIR spectrum without phenolic groups, similar to that of commercial glycerol. Furthermore, the antifreeze produced did not exhibit ice crystallization at -2 °C. Finally, the bioplastic synthesized using glycerol derived from post-consumer vegetable oil demonstrated structural properties comparable to those of bioplastic produced with commercial glycerol, as evidenced by FTIR-ATR analysis. These results highlight the high potential of this approach as a sustainable alternative for pollution reduction, waste valorization, and the promotion of a circular economy in the management of post-consumer vegetable oil.

Keywords: Contamination; Water; Oil; Environment; Biodiesel; Bioplastics; Antifreeze.

Obtenção de biodiesel e glicerina a partir de óleo vegetal pós-consumo como uma alternativa para a redução da pegada de carbono

Resumo

O uso de óleos de origem vegetal em frituras altera suas propriedades físico-químicas, especialmente a estrutura dos triglicerídeos, aumentando assim seu potencial para causar problemas de saúde, como o câncer. A disposição inadequada desses óleos tornou-se uma das principais causas de poluição hídrica, contaminando aproximadamente 40 000 litros de água para cada litro de óleo descartado. Para enfrentar este problema, foi implementada uma alternativa baseada no uso de óleo vegetal pós-consumo, obtido na cafeteria da Institución Educativa Las Américas, localizada em Bucaramanga, Santander, para a produção de biodiesel, bioplásticos e anticongelante a partir da glicerina como subproduto. O biodiesel foi produzido por meio da transesterificação a 50 - 60 °C, utilizando NaOH e metanol, com um tempo de reação entre 15 minutos e 1 hora, seguido pelos processos de purificação, lavagem e secagem dos produtos. O biodiesel resultante apresentou densidade de 0,89 g/mL, coloração amarelo-claro (variando entre 0,5 e 1,0 na escala Saybolt) e pH neutro de 7,55. A análise por espectroscopia no infravermelho (FTIR) revelou a presença de grupos carbonila e metila, sem sinais de grupos OH característicos da água. A glicerina foi obtida empregando a mesma metodologia, com um tempo de reação de uma hora, apresentando pH de 6,9 e espectro FTIR sem grupos fenólicos, semelhante à glicerina comercial. Além disso, o anticongelante produzido não apresentou cristalização de gelo a -2 °C. Por fim, o bioplástico obtido a partir da glicerina derivada do óleo vegetal pós-consumo apresentou propriedades estruturais comparáveis às do bioplástico elaborado com glicerina comercial, conforme demonstrado pela análise FTIR-ATR. Esses resultados evidenciam o elevado potencial desta abordagem como alternativa sustentável para a redução da poluição, valorização de resíduos e promoção da economia circular na gestão de óleo vegetal pós-consumo.

Palavras-chave: Contaminação; Água; Óleo; Meio Ambiente; Biodiesel; Bioplásticos; Anticongelante.

Introducción

Los aceites son compuestos orgánicos cuya composición principal son ácidos grasos [1], por consiguiente, se clasifican según su origen en:

- Aceites animales: sardinas, salmónes, hígado de tiburón, patas de vacunos, entre otros.
- Aceite vegetal: como girasol, maní, soja, oliva, uva, maíz, lino, coco y tung (no alimenticios).
- Grasa animal: sebo de bovino, cerdo, entre otros.

Las principales características de estos compuestos están determinadas por su baja densidad, limitada solubilidad en sustancias polares como el agua, y su baja biodegradabilidad. Su uso en procesos de fritura favorece la formación de compuestos estables o tóxicos, tales como aldehídos, cetonas y acroleínas, entre otros. Estos compuestos presentan una alta estabilidad y/o toxicidad, lo que dificulta su biodegradación por microorganismos y, en consecuencia, impide su proceso de biodegradabilidad eficiente. Asimismo, su mala disposición posconsumo contamina el recurso hídrico, afectando 40 000 litros de agua por cada litro de aceite, cifra equivalente al consumo de agua potable anual de una persona [2]. Las propiedades químicas del aceite forman una mezcla heterogénea con el afluente hídrico quedando en la parte superficial, lo cual afecta de manera directa los tratamientos de purificación del agua, disminuye el ingreso de oxígeno (elevando el DQO) y aumenta la concentración de CO_2 en el agua ocasionando su acidificación [3]. Para la reducción de la contaminación, se han desarrollado diversos estudios con el fin de utilizar los aceites de origen vegetal y/o animal en la producción de biocombustibles, jabones, ceras, barnices, y biodiésel. De esta manera, se contribuye a disminuir la contaminación de los medios hídricos y, a su vez, se logra un ahorro de aproximadamente un 96 % de energía en comparación con el uso de material fósil, con una generación de 0,92 a 0,97 kg de biodiésel por

cada kilogramo de aceite de cocina [4]. El uso de los hidrocarburos genera significativas emisiones de CO_2 , lo que contribuye de manera considerable a los problemas ambientales en el mundo actual. En contraste, los combustibles derivados de vegetales como la soja han demostrado una reducción de entre el 57 al 74 % en las emisiones de gases de efecto invernadero. Esta característica subraya la ventaja del biodiésel, que durante su combustión libera CO_2 previamente absorbido por las plantas, fomentando así un ciclo de carbono más equilibrado y menos perjudicial para el medio ambiente [5]. La principal desventaja del biodiésel producido a partir de material vegetal fresco es su contribución al aumento de la huella de carbono, debido a diversos factores relacionados con su ciclo de vida. En primer lugar, la deforestación y el cambio de uso del suelo necesarios para cultivar las plantas emiten grandes cantidades de dióxido de carbono (CO_2) al ambiente. Además, el cultivo y procesamiento de estos vegetales requieren el uso de fertilizantes, pesticidas y herbicidas, cuyo ciclo de vida genera un aporte adicional de emisión de CO_2 . Finalmente, se tiene el impacto por parte del transporte de los cultivos, trabajadores, insumos, así como el producto final a los puntos de almacenamiento y distribución [3]. Por consiguiente, la obtención de biodiésel a partir de un aceite de tipo vegetal empleado en el proceso de frituras presenta un ciclo de vida más sostenible, que promueve una economía circular en el lugar de incidencia, donde los residuos se transforman en producto con un valor agregado, aprovechando al máximo los recursos y maximizando su eficiencia. Además, durante su producción se genera glicerina como subproducto, que es un compuesto versátil utilizado en diversas industrias químicas, como la farmacéutica, cosmética y alimentaria [4].

La Figura 1 plantea el proceso de transesterificación como el método más usado en la industria para la obtención de biodiésel, en el cual reacciona el aceite con el metóxido de sodio en relación molar de 6:1, a una temperatura de operación igual a 60 °C [6].

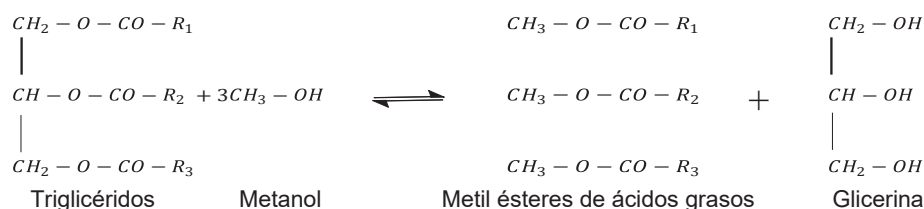


Figura 1. Reacción de transesterificación.

En el presente estudio, se empleó la reacción en un medio básico, cuyo mecanismo se ilustra en la [Figura 2](#). Este proceso consiste en la generación de un alcóxido nucleofílico a partir de un alcohol primario, que ataca la región electrofílica del grupo carbonilo, conduciendo a la ruptura de los triglicéridos. La síntesis se desarrolla a través de tres reacciones químicas reversibles. En primer lugar, se forma un intermediario tetraédrico (diglicéridos) mediante el ataque nucleofílico del alcóxido al carbono electrofílico del grupo carbonilo ([Figura 2a](#)). Posteriormente, este intermediario se transforma en un ión diacilglicérido y un éster alquílico del ácido graso ([Figura 2b](#)). Finalmente, el catalizador se recupera mediante transferencia de un protón ([Figura 2c](#)). Este ciclo se repite secuencialmente hasta la formación de tres ésteres de ácidos grasos (biodiésel) y glicerina, la cual puede ser utilizada en la producción de anticongelantes y bioplásticos [7,8,9].

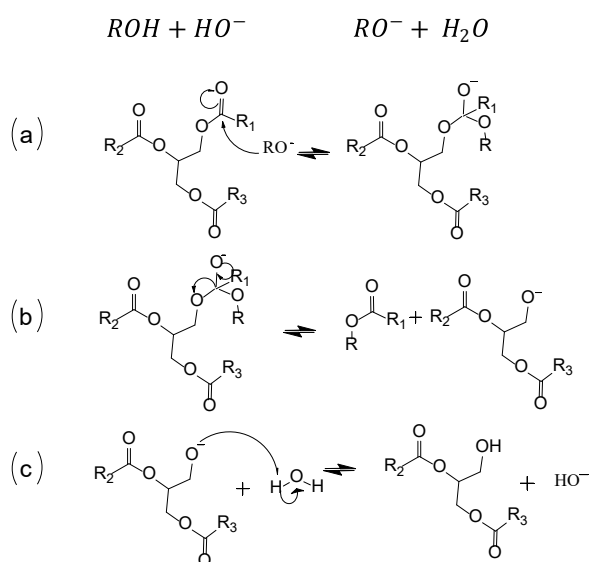


Figura 2. Mecanismo de reacción de transesterificación en un medio básico.

Metodología

Separación y limpieza del aceite posconsumo vegetal

Se procesaron 400 mL de aceite posconsumo vegetal procedente de la cafetería de la Institución Educativa Las Américas de Bucaramanga, Santander. La limpieza del aceite se realizó mediante un proceso de filtración por gravedad, empleando un papel filtro de 180 mm de diámetro

y 20 g de carbón activado granular, con un tamaño de gránulo superior a 180 μ m. El anterior procedimiento permitió la eliminación de residuos sólidos generados durante la fritura, obteniendo un aceite posconsumo vegetal libre de partículas y sólidos en suspensión.

Extracción de biodiésel

Se midieron 300 mL de aceite vegetal posconsumo previamente tratados y se añadió una solución de metóxido de sodio, preparada a partir de hidróxido de sodio (NaOH) de alta pureza (4,84 g) y metanol (200 mL). Esta mezcla se agitó a una velocidad equivalente a 600 rpm durante un tiempo de 15 minutos a una temperatura constante de 50 °C. Al finalizar el tiempo de reacción, la mezcla se transfirió a un embudo de decantación y se dejó en reposo entre 24 y 48 horas, permitiendo la separación de las fases correspondientes al biodiésel, glicerol e impurezas.

Purificación del biodiésel. El extracto de biodiésel obtenido se colocó en un baño termostático a una temperatura de 60 °C durante un periodo de 10 minutos. A continuación, se añadió agua destilada y se dejó reaccionar durante 15 minutos, hasta obtener una concentración de la solución de 20 %v. Finalmente, la solución se transfirió a un embudo de decantación hasta alcanzar la temperatura ambiente, para generar la separación del biodiésel de los compuestos residuales.

Caracterización del biodiésel. Los parámetros para la caracterización del biodiésel se realizaron siguiendo taxativamente los lineamientos de la normatividad ASTM 1500 [10] y NTC 54444 [11], usando medición de pH, densímetro, inspección visual e infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR-ATR).

Extracción de glicerina

El proceso de transesterificación se inició adicionando 300 mL de aceite vegetal posconsumo, previamente sometido a un tratamiento de limpieza, en un vaso de precipitados colocado sobre una manta de calentamiento marca IKA RCT basic, hasta alcanzar una temperatura de 50 °C en el sistema. Una vez alcanzada la temperatura, se incorporaron 200 mL de una solución de metóxido de sodio preparada al 4 %p NaOH en metanol, a 50 °C. La reacción se llevó a cabo bajo agitación magnética a 400 rpm durante 1 hora. Posteriormente, el contenido se transfirió

a un embudo de decantación y se dejó en reposo durante 22 horas, permitiendo la separación de la glicerina de los demás compuestos. Es importante destacar que la metodología empleada para la obtención de la glicerina fue similar a la utilizada para la producción de biodiésel, variando únicamente el tiempo de reacción. Durante este proceso, la glicerina se polimerizó, formando un gel que imposibilitó su utilización en la formación de bioplásticos o anticongelantes debido a su consistencia sólida y no fluida.

Purificación y caracterización de la glicerina.

El proceso de neutralización de la muestra se realizó de forma controlada, utilizando 8 mL de H_2SO_4 con una concentración de 22,4 M, hasta alcanzar un pH entre 6 y 7 en la solución. En primer lugar, la muestra se filtró, separando la glicerina de las sales y grasas. Posteriormente, el metanol en exceso presente en la glicerina se separó usando un montaje de destilación a una temperatura de 60 °C. El producto obtenido se caracterizó mediante espectroscopía UV-VIS, espectroscopía infrarroja (FTIR-ATR), densímetro y prueba de capacidad anticongelante a -2 °C durante 48 horas.

Formación de bioplásticos: Para la producción de bioplásticos, se colocaron en reacción 4 g de almidón de yuca, 2 mL de vinagre blanco de tipo comercial, 20 mL de agua y 1 mL de glicerina (extraída del aceite posconsumo y/o comercial) a una temperatura constante de 50 °C. La mezcla se agitó manualmente hasta alcanzar una alta viscosidad en la solución. A continuación, se utilizó un vidrio de reloj para dejar secar a una temperatura ambiente durante un período de 24 a 48 horas. Los productos obtenidos se caracterizaron mediante espectroscopía infrarroja (FTIR-ATR).

Resultados y discusión

Separación y limpieza del aceite posconsumo:

Los resultados mostraron un cambio de color de amarillo oscuro (Figura 3a) a un amarillo claro (Figura 3b), lo cual evidencia la capacidad adsorbente y decolorante del carbón activado, responsable de la remoción de compuestos coloreados e impurezas sólidas provenientes de las frituras.

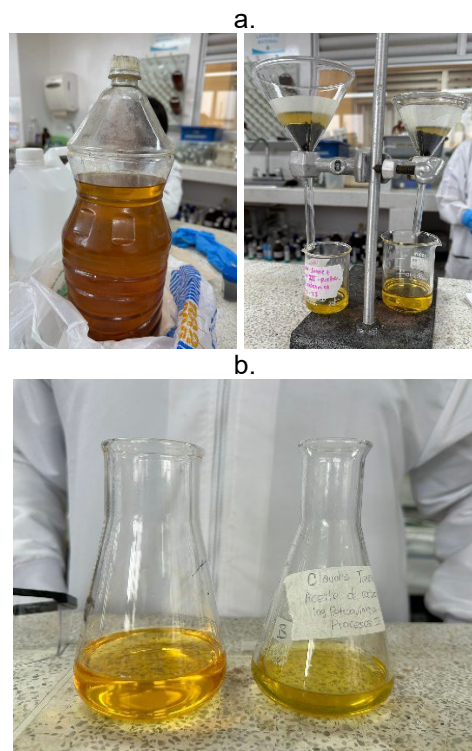


Figura 3. Limpieza de aceite posconsumo. a) Montaje para proceso de limpieza. b) Diferencia de color aceite posconsumo y limpio.

Extracción y purificación del biodiésel

El proceso de transesterificación a una temperatura menor a 60 °C favoreció la activación del catalizador y promovió la reacción química entre el aceite y el alcohol para producir ésteres alquilo de ácidos grasos, o biodiésel. Por consiguiente, la reacción se centró en el éster, realizando la sustitución de un grupo alquilo por un grupo alquilo de un alcohol, para este caso el metanol (Figura 4a), que junto con el NaOH produce metóxido de sodio, el cual actúa como el alcohol en la reacción con los ésteres presentes, obteniendo ésteres metílicos de ácidos grasos y glicerol como subproductos. Esta reacción de ácidos grasos con el NaOH produjo un cambio de color de amarillo-naranja a amarillo claro opaco.

Además, las emulsiones observadas (Figura 4b) se generan por la presencia de ácidos grasos libres, siendo estos más solubles en agua con respecto a los triglicéridos, dando de esta manera la presencia de emulsiones. Finalmente, se observó separación de dos fases, siendo el biodiésel (parte superior) de color amarillo, y la glicerina (parte inferior) de coloración oscura (Figura 4c).

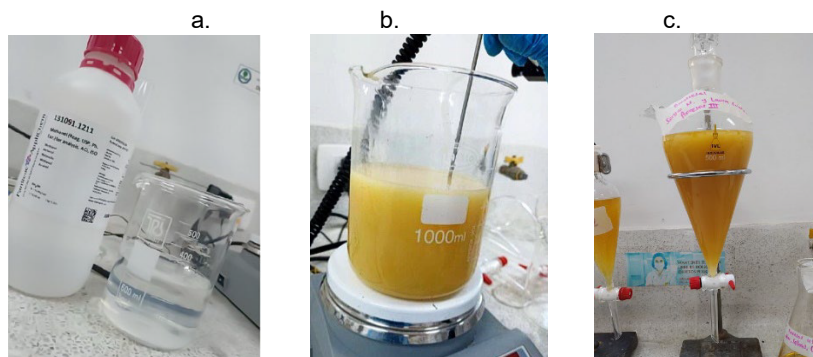


Figura 4. Extracción de biodiésel. a. Metóxido de sodio. b. Reacción de transesterificación. c. Separación de la glicerina del biodiésel.

Posteriormente, la fase de biodiésel fue separada de los subproductos y se realizó el proceso de limpieza observando un cambio de color amarillo a color amarillo opaco (Figura 5a), esto se produce por la presencia de trazas contaminantes como jabones y ácidos grasos, siendo disueltos y eliminados durante el proceso de agitación en presencia del agua caliente. Finalmente, el biodiésel se deja decantar para realizar la posterior eliminación de agua, obteniendo 250 mL de un biodiésel de color amarillo claro (Figura 5b).

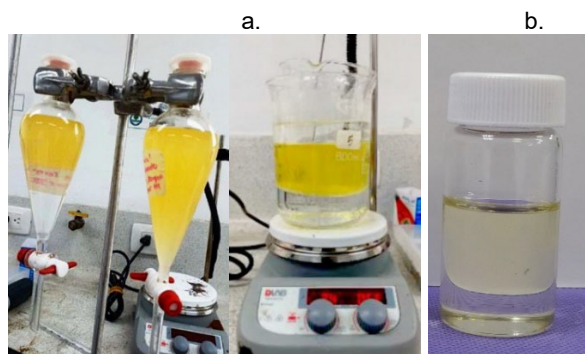


Figura 5. a) Limpieza del biodiésel con agua caliente. b) Biodiésel posterior al secado.

Caracterización del biodiésel

Color, densidad y pH. El biodiésel obtenido se comparó en color con respecto al diésel de petróleo (Figura 6a) bajo la normatividad ASTM 1500 y la escala de Saybolt (Figura 6b), obteniendo un biodiésel con rango entre 0,0 a 0,5 en esta escala, lo que indica una muy baja a nula presencia de contaminantes. Adicionalmente, el biodiésel cumple con lo establecido en la normatividad NTC 54444 con respecto a la densidad y el pH, siendo de 0,89 g/mL (Figura 6c) y 7,55 (Figura 6d), respectivamente.

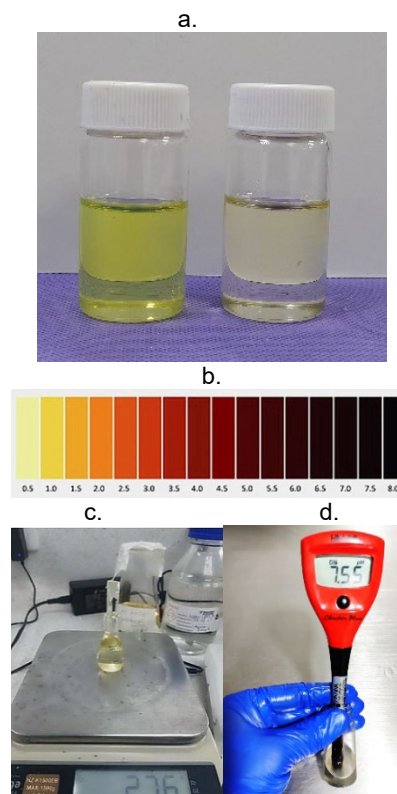


Figura 6. Caracterización. a) Diésel de petróleo (izquierda) y biodiésel del aceite pos-consumo (derecha). b) Escala de colores Saybolt. c) Densidad. d) pH.

Espectro Infrarrojo con transformada de Fourier, y UV-Visible (UV-VIS). El espectro UV-VIS mostró presencia de banda en 280 a 300 cm^{-1} representativo de enlaces C=O y grupos metílicos [10] (Figura 7a). El espectro infrarrojo (IR) del biodiésel (Figura 7b) no presentó la banda de estiramiento entre 3000 y 3500 cm^{-1} , atribuida a la vibración del grupo O-H del agua, lo que sugiere una menor presencia de agua residual y, en consecuencia, presenta una mayor pureza en

comparación con el diésel comercial [11,12], en cuyo espectro sí se observa dicha señal característica. En ambos espectros se identificaron picos en las regiones de 3000 y 2950 cm^{-1} , correspondientes a los modos de vibración de enlaces alifáticos ($-\text{CH}_3$, $-\text{CH}_2-$ y $-\text{CH}-$), típicos de compuestos derivados de aceites y ésteres [13]. No obstante, en el espectro del biodiésel se observó una

banda intensa en 1742 cm^{-1} , asociada al grupo carbonilo ($\text{C}=\text{O}$) [10,14], así como una señal más pronunciada en el rango entre 1200 a 1500 cm^{-1} , atribuida a las vibraciones de estiramiento de los enlaces $\text{C}-\text{O}$. Estas características espectrales evidencian una mayor concentración de ésteres metílicos en el biodiésel en comparación con el diésel de petróleo.

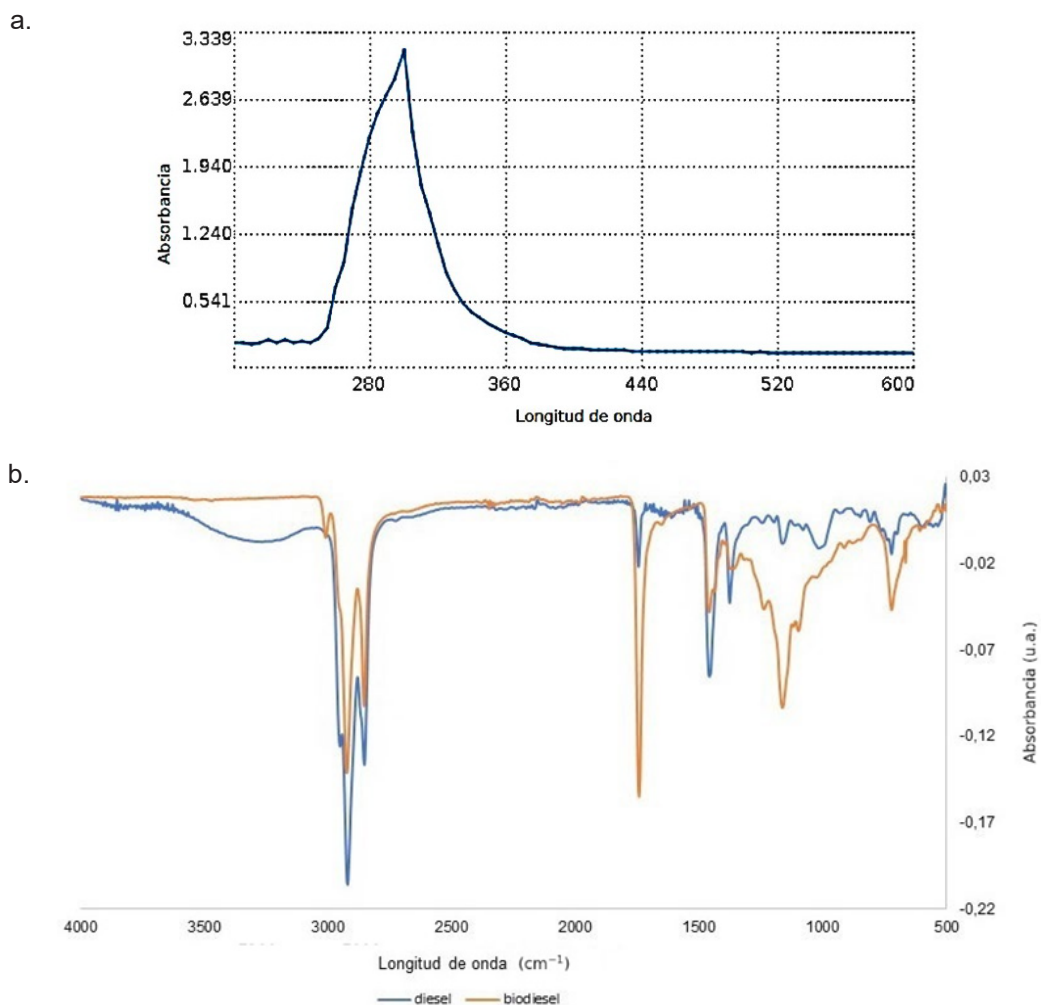


Figura 7. Caracterización. a) Espectro UV-VIS. b) Espectro FTIR-ATR.

Extracción, purificación y caracterización de la glicerina

La metodología utilizada para la extracción de glicerina a partir de metanol y NaOH mostró resultados similares a los obtenidos en la extracción del biodiésel, con un cambio de color de amarillo a color marfil (Figura 8a) debido al rompimiento

de enlaces éster en los triglicéridos, generando glicerol y sales de ácidos grasos. La glicerina generada fue de color amarillo claro (Figura 8b), diferenciándose del proceso de biodiésel mostrado en la Figura 6, principalmente en la temperatura y el tiempo de agitación.

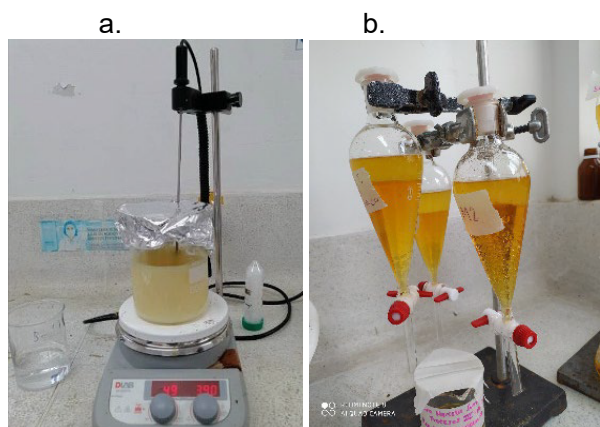


Figura 8. a) Reacción del catalizador con aceite posconsumo. b) Separación de la glicerina – glicerol de subproductos.

Trascurrido el tiempo del proceso de decantación, la muestra de glicerina fue extraída y neutralizada con H_2SO_4 , desde pH 12,47 a 6,9 (Figura 9a), y presentó un cambio de color debido a la presencia de grasas y sales de NaOH, las cuales fueron separadas mediante un proceso de filtrado por gravedad (Figura 9b).

En esta etapa no se obtuvo biodiésel, ya que dicho producto se generó en una fase anterior del proceso. Sin embargo, el biodiésel producido contenía una alta concentración de impurezas, lo que impidió su aprovechamiento. Por esta razón, el proceso químico se centró exclusivamente en la obtención y tratamiento de la glicerina como subproducto. Adicionalmente, durante la reacción de transesterificación, la glicerina generada presentó un grado de polimerización que dificultó su manipulación y procesamiento posterior, lo que justificó la necesidad de un procedimiento específico orientado a su recuperación.

Finalmente, la glicerina fue sometida a un tratamiento térmico a 60°C hasta reducir su volumen a 20 mL. Posteriormente, se dejó enfriar hasta alcanzar la temperatura ambiente y se almacenó a -2°C durante un periodo 24 a 48 horas. Durante este lapso no se observó un cambio de fase de líquido a sólido, lo cual se explica por el punto de congelación de la glicerina pura, que se encuentra por debajo de -18°C . Además, la presencia de agua en la mezcla interfiere con la formación de cristales de hielo, impidiendo su solidificación.

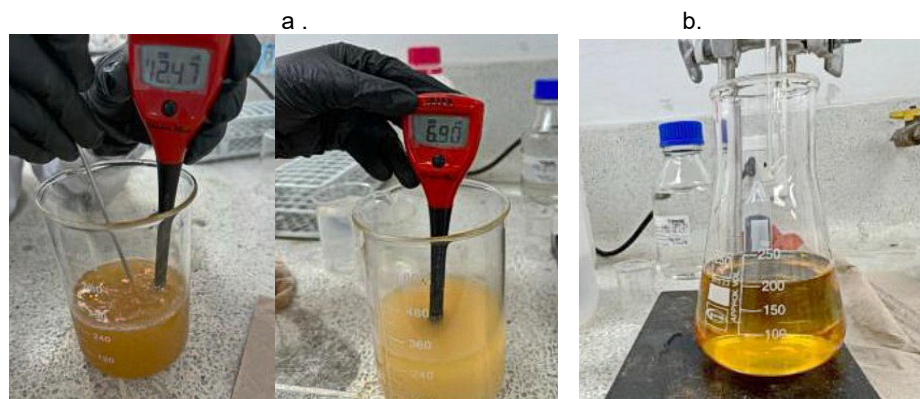


Figura 9. Purificación y separación de la glicerina. a) Neutralización en medio básico. b) Eliminación de contaminantes mediante filtración por gravedad.

Caracterización por densidad e Infrarrojo con transformada de Fourier FTIR-ATR. La glicerina obtenida presentó una densidad de $1,22 \text{ g/cm}^3$ a 20°C , valor ligeramente inferior al reportado para la glicerina comercial ($1,25 \text{ g/cm}^3$ a 20°C) [15]. La diferencia puede atribuirse a la presencia de impurezas como sales residuales del catalizador, trazas de metanol no eliminado durante la purificación, y/o pequeñas cantidades de biodiésel residuales. El análisis mediante espectroscopía infrarroja (Figura 10) evidenció una banda ancha en el rango de $3650 - 3200 \text{ cm}^{-1}$, característica

de los enlaces O–H asociados a la presencia de agua. Adicionalmente, el espectro permitió diferenciar entre la glicerina obtenida a partir de aceite posconsumo vegetal y la glicerina comercial derivada del petróleo. En particular, la glicerina de origen vegetal no presentó las bandas ubicadas entre $1300 - 1000 \text{ cm}^{-1}$ ni entre $1000 - 700 \text{ cm}^{-1}$, correspondientes a los modos de flexión del grupo O–H y a los estiramientos de enlaces C=C y C–H típicos de estructuras fenólicas, presentes en la glicerina de origen petroquímico [4,10,14].

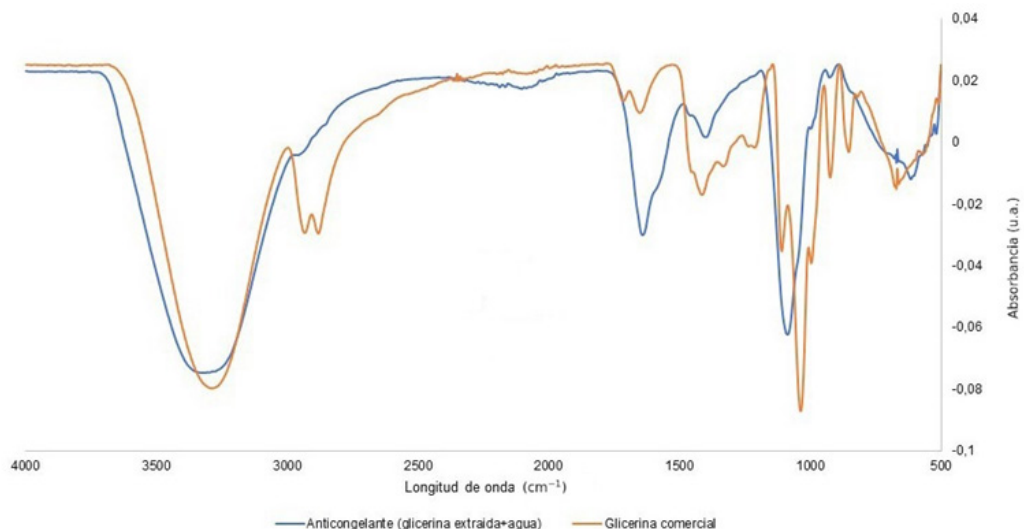


Figura 10. Espectro FTIR-ATR comparativo entre la glicerina comercial y la glicerina extraída (anticongelante).

Formación anticongelante. La muestra, conformada por un 85 %v de agua, 15 %v de glicerina y expuesta a una temperatura de -2°C (Figura 11), no presentó cristalización ni congelamiento. La presencia de la glicerina genera un impedimento estérico llamado efecto crioscópico y, por tanto, la imposibilidad de formación de cristales de hielo, retrasando y/o evitando el proceso de solidificación. Adicionalmente, la glicerina presenta una estructura no homogénea, lo cual genera la formación heterogénea de los cristales de hielo que conlleva a un debilitamiento de enlaces de puentes de hidrógeno evitando la formación del hielo sólido.

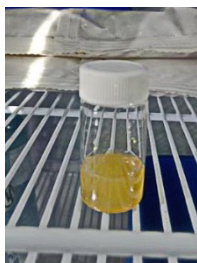


Figura 11. Anticongelante sometido a -2°C .

Formación de bioplástico. El bioplástico obtenido a partir de la glicerina extraída de aceite posconsumo (GAPC) fue comparado con bioplásticos generados a partir de glicerina comercial (GC) (Figura 12) bajo una mezcla de vinagre, almidón y glicerina con relación 4:2:1, 4 g de almidón, 2 mL de vinagre y 1 mL de glicerina, respectivamente. La inspección visual del bioplástico elaborado a partir de la glicerina obtenida por transesterificación

(GAPC) evidenció características como rigidez, coloración amarilla y facilidad de quiebre. En contraste, el bioplástico formulado con glicerina comercial (GC) presentó un color blanco uniforme, así como propiedades superiores de elasticidad y plasticidad. Estas diferencias pueden atribuirse a la posible presencia de impurezas o subproductos remanentes del proceso de transesterificación involucrado en la obtención de GAPC, los cuales habrían interferido con la formación de una matriz polimérica homogénea, afectando negativamente las propiedades físicas y mecánicas del bioplástico. Por último, la glicerina comercial, al poseer una mayor pureza y homogeneidad, favorece la interacción con los demás componentes de la mezcla, especialmente con el almidón y el vinagre, por lo que las diferencias observadas en las propiedades finales de los bioplásticos están directamente relacionadas con la calidad y el grado de pureza de la glicerina empleada en el proceso.



Figura 12. Bioplásticos. a) Superior izquierda y derecha: a partir de glicerina comercial. b) Inferior centro: a partir de glicerina extraída del aceite posconsumo.

Caracterización del bioplástico por infrarrojo FTIR-ATR. Los espectros generados para los bioplásticos a partir de GC (bioplásticos 1 y 2) y GAPC (bioplásticos GAPC) no mostraron diferencias relevantes. Los tres espectros muestran una banda ancha de grupos O-H de 3500 a 3000 cm^{-1} , así como un alargamiento del grupo CH entre 2931 y 2890 cm^{-1} , y la presencia de

una inflexión en 1643 cm^{-1} atribuida a los enlaces de puentes de hidrógeno (OH), correspondiente a la incorporación de la glicerina. Adicionalmente, se muestra una banda pronunciada en 1000 cm^{-1} característica de los polisacáridos, la tensión de los éteres C-O-C de la glucosa y la flexión de los alcoholes [16] (Figura 13).

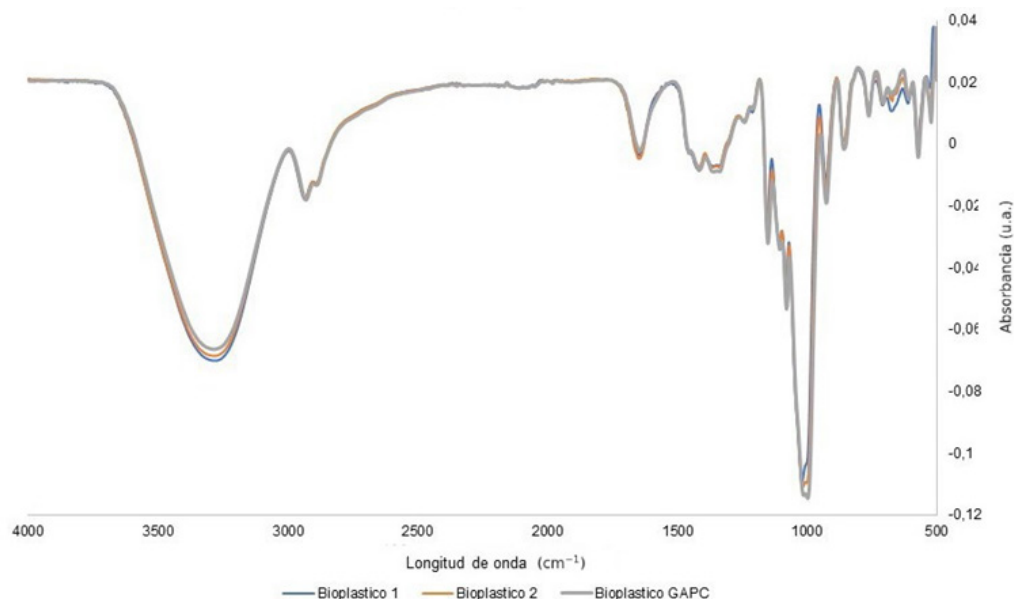


Figura 13. Infrarrojo de bioplásticos a partide de glicerina comercial (rojo y azul) y glicerina extraída de aceite posconsumo (verde).

Conclusiones

La producción de biodiésel y glicerina a partir de aceite posconsumo vegetal no sólo demuestra ser una alternativa técnica y económicamente viable, sino que también representa una estrategia ambientalmente sostenible, que contribuye significativamente a la reducción de la contaminación hídrica y del suelo, al valorizar un residuo e integrarlo a un proceso productivo, y promueve un modelo de economía circular en la región de Bucaramanga, Santander.

La metodología de transesterificación desarrollada y establecida, con un tiempo de reacción reducido a 15 minutos y a una temperatura de 50 °C, permitió obtener un biocombustible de alta calidad, con un rendimiento aproximado del 65 %v, libre de contaminantes y agua, bajo parámetros de pH, densidad y características espectroscópicas establecidos por la norma ASTM D1500. Los resultados demuestran la viabilidad técnica y económica de optimizar el proceso

mediante la reducción del tiempo de reacción, lo cual representa una ventaja operacional para el sector industrial en términos de eficiencia, ahorro energético, menor desgaste de equipos, optimización del uso de catalizadores y reducción del impacto ambiental. En contraste, la obtención de glicerina bajo condiciones similares, pero con un tiempo de reacción de una hora, resultó en un bajo rendimiento del 5 %v, en relación con el volumen inicial de aceite procesado, con un 95 % compuesto por impurezas como agua, metanol, catalizador y trazas del biodiésel.

El impacto formativo que ha tenido el proyecto desarrollado globalmente entre la Universidad de Santander (UDES) y la Institución Educativa Las Américas de Bucaramanga, Santander, no sólo representó un aporte técnico y ambiental, sino también una experiencia formativa integral, enmarcada en el modelo educativo de las instituciones, centrado en el aprendizaje significativo y el desarrollo de competencias.

Agradecimientos

Al Grupo Ambiental de Investigación Aplicada (GAIA) de la Universidad de Santander-Colombia. A la Institución Educativa las Américas-Bucaramanga-Santander-Colombia, por su apoyo y colaboración en el desarrollo de esta investigación.

A la doctora Dalje Sunith Barbosa Trillos del grupo de nuevos materiales del Instituto Colombiano de Petróleo (ICP) - Bucaramanga, Colombia por la obtención de espectros de infrarrojos con transformada de Fourier (FTIR-ATR).

A los estudiantes de ingeniería petroquímica Laura M. Suarez Jaimes, Claudia L Tarazona Santamaría, Sergio A. Merchán Quintero y Juan Sebastián Ardila C.

Referencias

- [1] Toapanta Vera MI. Calidad del agua: grasas y aceites [Internet]; 2017. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6161/8/GRASASYACEITES.pdf> Acceso 22 de marzo de 2023
- [2] González Canal I, González Ubierna JA. Aceites usados de cocina. Problemática ambiental, incidencias en redes de saneamiento y coste del tratamiento en depuradoras. Aguasresiduales.info; 2015. Disponible en: <https://www.aguasresiduales.info/revista/articulos/problematika-ambiental-incidencias-en-redes-de-saneamiento-y-coste-del-tratamiento-en-depuradoras-de-los-aceites-usados-en-cocina>
- [3] Herrera I, de la Rúa Cristina, Caldés N, Lechón Y. Análisis de ciclo de vida del proceso de producción de biodiésel a partir de un mix de materias primas grasas en la empresa alcoholes de Uruguay (ALUR). Uruguay: Alcoholes del Uruguay (ALUR), Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM), Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT); 2016. Disponible en: <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/sites/ministerio-industria-energia-mineria/files/documentos/publicaciones/2.1%20-%20Ciclo%20de%20Vida%20Biodi%C3%A9sel%20ALUR.pdf>
- [4] Menéndez-Simisterra AL, Quiñonez-Hurtado NA, García-Muentes SA, García-Vinces GO, García-Ávila AG. Obtención y purificación de glicerina mediante la transesterificación a partir de grasa residual de los asaderos de pollo. MQRInvestigar. 2023;7(1):3-17. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.7.1.2023.3-17>
- [5] U.S. Department of Energy. Biodiesel Benefits and Considerations [Internet]. 2010. Disponible en: <https://afdc.energy.gov/fuels/biodiesel-benefits> Acceso el 15 de abril de 2024.
- [6] Marchetti JM, Miguel VU, Errazu AF. Possible methods for biodiesel production. Renew. Sustain. Energy Rev. 2007;11(6):1300-11. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.08.006>
- [7] Castellar Ortega GC, Angulo Mercado ER, Cardozo Arrieta BM. Transesterificación de aceites vegetales empleando catalizadores heterogéneos. Prospect. 2014;2(2):90-104. <https://doi.org/10.15665/rp.v12i2.293>
- [8] CEUPE. ¿Qué es la transesterificación? [Internet]. Disponible en: <https://www.ceupe.com/blog/que-es-la-transesterificacion.html> Acceso el 1 de abril de 2023.
- [9] Falcón Ramírez IV, Guerrero Vejarano TE. Obtención de biodiésel a partir de aceite doméstico residual. Investigación y Amazonía. 2016;6(1):37-44.
- [10] Knothe G. Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters. Fuel Process. Technol. 2005;86(10):1059-1070. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2004.11.002>
- [11] ASTM International. ASTM D1500-12: Standard Test Method for ASTM Color of Petroleum Products (ASTM Color Scale). West Conshohocken, PA: ASTM International; 2012. <https://doi.org/10.1520/D1500-12>
- [12] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación – ICONTEC. NTC 5444:2017. Biocombustibles. Biodiésel (B100) para uso en motores diésel. Bogotá, Colombia: ICONTEC; 2017.
- [13] Silverstein RM, Webster FX, Kiemle DJ. Spectrometric Identification of Organic Compounds. 8th ed. New York: Wiley; 2014.
- [14] Moser BR. Biodiesel production, properties, and feedstocks. In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant. 2009;45(3):229–266. <https://doi.org/10.1007/s11627-009-9204-z>
- [15] National Center for Biotechnology Information. PubChem Compound Summary for CID 753, Glycerol. PubChem Database; 2023. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Glycerol>. Acceso el 16 de septiembre de 2025.
- [17] Tharanathan RN. Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. Trends Food Sci. Technol. 2003;14(3):71–78. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00280-7](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00280-7)