

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), marzo-abril 2026,
Volumen 10, Número 2.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i2

UPCYCLING DEL EFLUENTE DE BIODIÉSEL: SÍNTESIS DE JABONES A PARTIR DE LA FRACCIÓN RESIDUAL DE GLICERINA CRUDA.

**UPCYCLING OF BIODIESEL EFFLUENT: SYNTHESIS OF SOAPS
FROM THE RESIDUAL FRACTION OF CRUDE GLYCERIN.**

Fabián Jesús Rendón Hernández

Universidad Autónoma del Estado de Morelos

José Luis Gutiérrez Díaz

Universidad Autónoma del Estado de Morelos

Jorge Avelino Domínguez Patiño

Universidad Autónoma del Estado de Morelos

Upcycling del efluente de biodiésel: Síntesis de jabones a partir de la fracción residual de glicerina cruda.

Fabián Jesús Rendón Hernández¹

fabian.rendon@uaem.mx

<https://orcid.org/0000-0003-3757-043X>

Universidad Autónoma del Estado de Morelos
Morelos – México

José Luis Gutiérrez Díaz

fabian.rendon@uaem.mx

<https://orcid.org/0000-0001-5491-5773>

Universidad Autónoma del Estado de Morelos
Morelos – México

Jorge Avelino Domínguez Patiño

fabian.rendon@uaem.mx

<https://orcid.org/0000-0002-7495-6887>

Universidad Autónoma del Estado de Morelos
Morelos – México

RESUMEN

La industria del biodiésel genera glicerina cruda como subproducto principal, la cual posee bajo valor comercial y se considera un desecho peligroso al contener impurezas críticas como metanol, restos de catalizador, jabones y sales inorgánicas. Su pureza inicial es del 40-50%. Para otorgarle valor agregado, es indispensable su purificación fisicoquímica. Experimentalmente, el proceso inicia evaporando el metanol mediante destilación, seguido de una acidificación (con H₂SO₄ o HCl) para separar jabones y ácidos grasos a través de una decantación en fases. La fase acuosa media se neutraliza con una base fuerte (NaOH), y posteriormente se evapora y filtra para remover las sales cristalizadas. Este método logra duplicar la concentración de glicerol al 81% y reducir el metanol a niveles ínfimos (0.11%). Esta glicerina purificada (50-60%) se emplea como materia prima en la síntesis de jabones sólidos. El proceso de saponificación requiere la hidrólisis alcalina de una grasa (aceite de canola) con NaOH. La mezcla de ingredientes, que incluye agua y etanol, se calienta entre 70°C y 80°C bajo agitación constante hasta lograr una emulsión uniforme. Finalmente, tras añadir esencias y colorantes, se vierte en moldes y se cura por dos semanas para evaporar el alcohol residual y solidificar la pastilla.

Palabras clave: Biodiésel, Glicerina cruda, Transesterificación, Saponificación, Hidrólisis alcalina.

¹ Autor principal

Correspondencia: fabian.rendon@uaem.mx

Upcycling of biodiesel effluent: Synthesis of soaps from the residual fraction of crude glycerin.

The biodiesel industry generates crude glycerin as its main byproduct. This crude glycerin has low commercial value and is considered a hazardous waste due to its high levels of impurities, including methanol, catalyst residue, soaps, and inorganic salts. Its initial purity is 40-50%. To add value, physicochemical purification is essential. Experimentally, the process begins by evaporating the methanol through distillation, followed by acidification (with H_2SO_4 or HCl) to separate soaps and fatty acids through phase decantation. The middle aqueous phase is neutralized with a strong base (NaOH), then evaporated and filtered to remove crystallized salts. This method doubles the glycerol concentration to 81% and reduces the methanol to negligible levels (0.11%). This purified glycerin (50-60%) is used as a raw material in the synthesis of solid soaps. The saponification process requires the alkaline hydrolysis of a fat (canola oil) with NaOH . The mixture of ingredients, which includes water and ethanol, is heated between 70°C and 80°C under constant stirring until a uniform emulsion is achieved. Finally, after adding flavorings and colorants, it is poured into molds and cured for two weeks to evaporate the residual alcohol and solidify the pellet.

Keywords: Biodiesel, Crude glycerin, Transesterification, Saponification, Alkaline hydrolysis.

Artículo recibido 02 febrero 2026

Aceptado para publicación: 27 febrero 2026



INTRODUCCIÓN

El incremento sostenido en la producción de biodiésel ha sido impulsado fuertemente por la perspectiva del agotamiento de los combustibles fósiles y la preocupación medioambiental generada por las emisiones de gases contaminantes (Cardeño, Gallego & Rios, 2011). El principal método industrial para su síntesis es la transesterificación, reacción en la cual se estima que por cada 10 kg de biodiésel se produce aproximadamente 1 kg de glicerol crudo como subproducto principal (Badia-Fabregat et al., 2019). El rápido crecimiento de la industria oleoquímica y del biodiésel ha provocado una sobreoferta masiva de glicerina cruda en el mercado mundial, lo que ha deprimido drásticamente su precio comercial (Posada-Duque & Cardona-Alzate, 2010). En su estado natural, este efluente presenta un bajo valor y es considerado un residuo problemático, ya que contiene niveles de glicerol que oscilan apenas entre el 40% y el 88%, mezclado con impurezas críticas como metanol residual, agua, jabones, ácidos grasos libres, sales inorgánicas y restos de catalizador alcalino (Thompson & He, 2006).

La disposición final de estos excedentes de glicerol representa un grave inconveniente financiero y un riesgo de contaminación medioambiental, por lo que su valorización se ha vuelto imperativa (Posada-Duque & Cardona-Alzate, 2010). Para consolidar la viabilidad y rentabilidad de las plantas de biodiésel, resulta indispensable desarrollar alternativas tecnológicas sustentables que transformen este residuo en productos de valor agregado (Ooi et al., 2001). Un paso previo fundamental para cualquier vía de aprovechamiento es el acondicionamiento fisicoquímico del glicerol crudo; mediante tratamientos de baja complejidad que incluyen la evaporación del metanol tóxico, la acidificación con ácidos fuertes (como el H_2SO_4 o HCl) para decantar ácidos grasos, y una posterior neutralización, es posible obtener una glicerina purificada adecuada para nuevas aplicaciones (Ferrero, Rosa & Veneciano, s.f.).

Una de las rutas de valorización más prácticas, directas y con enfoque de economía circular es la reincorporación de esta glicerina purificada en procesos de saponificación para la elaboración de jabones. El jabón formulado en barra a partir de este subproducto posee una excelente capacidad desengrasante, ideal para el trabajo pesado en talleres, y, mediante la adición de esencias y colorantes, puede adaptarse perfectamente para el uso diario y doméstico. Por consiguiente, el presente artículo tiene como objetivo principal describir y evaluar el proceso integral de recuperación y purificación de la glicerina derivada de la industria del biodiésel, así como documentar la metodología técnica para su



aprovechamiento como materia prima activa en la síntesis de jabones artesanales sólidos, demostrando la viabilidad de transformar un desecho industrial en un bien de consumo comercial.

Marco Teórico.

Transesterificación y Separación de Fases.

La reacción de transesterificación de aceites vegetales o grasas animales con alcoholes de cadena corta (generalmente metanol) es el método principal para la síntesis de biodiésel. Este proceso se puede llevar a cabo empleando catalizadores homogéneos (como NaOH, KOH) o en presencia de catalizadores heterogéneos (como óxidos metálicos, zeolitas, carbonatos o enzimas). Aunque la catálisis homogénea es la más utilizada en la industria, la catálisis enzimática y el uso de catalizadores sólidos heterogéneos destacan notablemente porque generan productos más puros, facilitan la separación de las mezclas, evitan la indeseada formación de jabones y no emplean reactivos químicos corrosivos que afecten el medio ambiente (Rojas González et al., 2010).

La creciente producción mundial de biodiésel, impulsada por la necesidad de contar con fuentes de energía alternativas, limpias y renovables, trae aparejada la generación masiva de glicerina como su coproducto más importante (Ooi et al., 2001). Estequiométricamente, se genera alrededor de un 10% en peso de glicerol (aproximadamente 1 kg de glicerol crudo por cada 10 kg de biodiésel producido). Después de la reacción de transesterificación, esta glicerina debe ser rigurosamente removida de los metilésteres; si permanece libre en el combustible en cantidades superiores a las exigidas por las normas de calidad, puede causar graves inconvenientes operativos, tales como la obstrucción de los filtros y los tanques de almacenamiento, y severos problemas de contaminación durante la combustión en el motor. Afortunadamente, debido a la baja solubilidad de la glicerina en los metilésteres y a la diferencia de densidades entre ambas sustancias, la separación general ocurre rápidamente y puede llevarse a cabo mediante métodos físicos de baja complejidad, como la decantación por gravedad en tanques o la centrifugación.

Luego de esta separación, la mayor parte de la glicerina se concentra en la fase inferior. En este estado crudo, la pureza del glicerol suele oscilar apenas entre el 40% y el 88%. Los demás componentes que quedan atrapados en esta fase pesada son críticos e incluyen; el metanol que no reaccionó, la mayor parte del catalizador alcalino utilizado, agua y los jabones formados por la reacción parásita entre los



ácidos grasos libres y el hidróxido de sodio. Por tal motivo, el valor comercial de la glicerina en este estado es sumamente bajo y la eliminación de sus contaminantes resulta una tarea compleja y dificultosa. Además, el elevado contenido de metanol residual le confiere un alto grado de toxicidad e inflamabilidad, lo que hace que esta glicerina cruda sea catalogada frecuentemente como un desecho peligroso (Aimaretti et al., 2008).

El Glicerol y sus Calidades Comerciales

El glicerol (1,2,3-propanotriol) es un compuesto químico básico obtenido principalmente como coproducto en la industria oleoquímica, mientras que la “glicerina” es el nombre comercial que reciben las mezclas con un alto contenido de este alcohol (Peña Reinoso & Ordóñez Landínez, 2024; Posada-Duque & Cardona-Alzate, 2010). Es una sustancia sumamente versátil que, gracias a su combinación única de propiedades físicas y químicas, posee más de 1,500 usos finales identificados (Posada-Duque & Cardona-Alzate, 2010; Quispe et al., 2013). De la glicerina se destaca que es un componente muy estable bajo las condiciones típicas de almacenamiento, no es irritante, es inodoro, de sabor dulce y tiene un bajo grado de toxicidad para el ser humano y el medio ambiente, siendo además compatible con muchos otros productos químicos (Peña Reinoso & Ordóñez Landínez, 2024; Posada-Duque & Cardona-Alzate, 2010).

El glicerol es un trialcohol que posee dos grupos hidroxilos primarios y uno secundario; esta estructura le confiere un alto poder higroscópico, ofreciendo diferentes posibilidades de reacción que son la base de la versatilidad de la glicerina como materia prima (Peña Reinoso & Ordóñez Landínez, 2024; Posada-Duque & Cardona-Alzate, 2010). Entre sus múltiples aplicaciones se usa frecuentemente como ingrediente humectante, plastificante, emoliente, espesante, disolvente, medio de dispersión y edulcorante para su transformación en productos cosméticos, artículos de tocador, cuidado personal, medicamentos y productos alimenticios (Peña Reinoso & Ordóñez Landínez, 2024; Posada-Duque & Cardona-Alzate, 2010).

Naturalmente, el glicerol se presenta de forma combinada como triglicéridos en todas las grasas animales y aceites vegetales; esto es, constituye en promedio alrededor del 10% en peso de estos materiales (Posada-Duque & Cardona-Alzate, 2010). Dicho componente se obtiene a partir de las grasas y aceites durante la producción de ácidos grasos y jabón, así como en los procesos de transesterificación



con alcoholes, por medio de los cuales se produce el biodiésel (Peña Reinoso & Ordóñez Landínez, 2024; Posada-Duque & Cardona-Alzate, 2010). El glicerol también puede ser producido sintéticamente por procesos petroquímicos desde epíclorhidrina, a partir propileno; sin embargo, las plantas de este tipo se han ido cerrando en los últimos años ante la alta disponibilidad de su contraparte renovable (Posada-Duque & Cardona-Alzate, 2010).

El suministro de glicerina cruda en el mercado se mantuvo relativamente estable hasta 2003, año en el cual la producción de biodiésel empezó a aumentar fuertemente a nivel global (Ayoub & Abdullah, 2012; Posada-Duque & Cardona-Alzate, 2010). Desde entonces, y considerando que se genera 1 litro de glicerol por cada 10 litros de biodiésel producido, la disponibilidad de glicerina cruda casi se ha duplicado, mientras que la demanda tradicional del producto se ha mantenido en gran medida sin cambios (Ayoub & Abdullah, 2012; Sánchez Gómez et al., 2025). Este profundo exceso de oferta frente a una limitada demanda ha originado que los precios de la glicerina cruda caigan drásticamente y se mantengan bajos, convirtiendo a la sobreoferta de este residuo en un importante reto financiero y medioambiental (Posada-Duque & Cardona-Alzate, 2010; Sánchez Gómez et al., 2025).

Actualmente, la mayor parte de la glicerina comercializada es fabricada y purificada para satisfacer los exigentes requisitos de diferentes industrias, clasificándose en tres grados principales (Peña Reinoso & Ordóñez Landínez, 2024; Posada-Duque & Cardona-Alzate, 2010).

1. Glicerina refinada (Grado USP y FCC / Kosher): Posee una alta pureza que oscila entre el 99.5% y 99.7%, cumpliendo con los estrictos requisitos de la United States Pharmacopeia (USP) y el Food Chemicals Codex (FCC). Es apta y requerida para la formulación de alimentos, cosméticos y productos farmacéuticos (Peña Reinoso & Ordóñez Landínez, 2024; Posada-Duque & Cardona-Alzate, 2010)
2. Glicerina de grado técnico: Contiene una pureza mínima del 98% y, aunque no está certificada como USP o FCC para el consumo humano, posee un máximo del 2% de humedad e impurezas, lo que la hace sumamente útil y valiosa en diversas aplicaciones de la industria química (Peña Reinoso & Ordóñez Landínez, 2024; Posada-Duque & Cardona-Alzate, 2010)
3. Glicerina cruda: Es la forma más impura y de menor valor, separada directamente de la transesterificación, con porcentajes de glicerol puro que oscilan apenas entre el 40% y el 88%,



mezclada con metanol residual, jabones, agua y sales (Peña Reinoso & Ordóñez Landínez, 2024; Posada-Duque & Cardona-Alzate, 2010)

Características de la glicerina

En el mercado y en productos comerciales, el término “glicerina” se aplica habitualmente a aquellas mezclas que contienen un alto porcentaje de glicerol (típicamente mayor al 95%), mientras que “glicerol” se refiere específicamente al compuesto químico puro 1,2,3-propanotriol (Posada-Duque & Cardona-Alzate, 2010). Su fórmula empírica es $C_3H_8O_3$, y su estructura molecular consta de una cadena de tres átomos de carbono con tres grupos hidroxilo unidos mediante enlaces simples (Peña Reinoso & Ordóñez Landínez, 2024).

Entre sus principales propiedades físicas y químicas, destaca por ser un líquido orgánico viscoso, incoloro, inodoro y de sabor dulce (Ferrero, Rosa & Veneciano, s.f.; Peña Reinoso & Ordóñez Landínez, 2024). Gracias a la presencia de sus grupos hidroxilo, posee propiedades solventes similares a las del agua o los alcoholes alifáticos simples, siendo altamente miscible en estos; por el contrario, es insoluble en hidrocarburos, alcoholes de cadena larga, grasas y solventes halogenados. Además, a temperatura ambiente es una sustancia sumamente higroscópica, y la solubilidad de gases u otros líquidos en ella depende directamente de la temperatura y la presión (Peña Reinoso & Ordóñez Landínez, 2024).

Se destaca por ser un componente muy estable bajo condiciones típicas de almacenamiento, no es irritante y presenta un bajo grado de toxicidad para el medio ambiente (Posada-Duque & Cardona-Alzate, 2010). En condiciones neutras o alcalinas puede calentarse sin emitir gases tóxicos, pero si se calienta en presencia de un ácido fuerte, o se ve expuesta a oxidantes y altas temperaturas, comienza a deshidratarse formando poligliceroles y se descompone liberando acroleína (un gas tóxico) a partir de los 160 °C (Ferrero, Rosa & Veneciano, s.f.).

Dadas estas propiedades y su compatibilidad química, la glicerina de alta calidad posee numerosos usos. Tradicionalmente se destaca en la elaboración de resinas alquídicas, productos de limpieza, medicinas y explosivos (como la nitroglicerina). También funge como plastificante para celofán, espesante, y humectante o lubricante para maquinaria en la industria alimenticia y de derivados del tabaco (Posada-Duque & Cardona-Alzate, 2010; Peña Reinoso & Ordóñez Landínez, 2024).

Usos alternativos de la glicerina



Con el fin de mitigar la problemática del exceso de oferta de glicerina cruda descrita anteriormente por el auge de la industria del biodiésel, investigadores de todo el mundo han evaluado las siguientes alternativas de valorización:

- ❖ **Uso como combustible en calderas:** La glicerina puede quemarse mezclada con fuel-oil o diésel-oil. Si se utiliza glicerina cruda sola como combustible primario, existe el alto riesgo de que, por su descomposición térmica, se formen gases tóxicos como la acroleína, un fuerte carcinógeno. Por este motivo es imperativo quemarla en mezclas con otros combustibles para alcanzar una temperatura de llama mucho más alta (alrededor de 1000 °C), garantizando una combustión completa y eliminando así la posibilidad de formación de acroleína (Aimaretti et al., 2008).
- ❖ **Fertilizante para suelos:** En este escenario, es necesario utilizar hidróxido de potasio (KOH) como catalizador de la reacción de transesterificación. Al realizar el tratamiento de purificación para eliminar jabones, se neutraliza con ácidos minerales (H_2SO_4 o H_3PO_4) obteniéndose como precipitado sulfato de potasio (K_2SO_4) o fosfato de potasio (K_2HPO_4). Aunque es una opción simple, requiere de un control estricto del pH para que la aplicación de estas sales no afecte el desarrollo bacteriano natural del suelo (Aimaretti et al., 2008).

Suplemento en alimentos balanceados (Nutrición animal): Cuando el catalizador utilizado es hidróxido de sodio (NaOH), la fase se debe neutralizar con ácido clorhídrico (HCl) para obtener cloruro de sodio (NaCl), una sal común inofensiva. Al ser un potente agente gluconeogénico, el consenso general sugiere que el glicerol en bruto puede sustituir al maíz y representar hasta el 15% de la dieta seca de rumiantes. En el caso particular de las vacas lecheras, la literatura demuestra que su adición incrementa la producción total de leche, así como su contenido de proteína (Aimaretti et al., 2008; Delgado & Galindo, 2024).

Síntesis química de alto valor agregado: Alternativas recientes buscan transformarla en compuestos de alto interés industrial, como la producción de propilenglicol (PG), el cual es utilizado en alimentos para animales, pinturas, resinas de poliéster, lubricantes, anticongelantes y cosméticos (Aimaretti et al., 2008); o bien su conversión a acetinas (aditivos para combustibles) y carbonato de glicerol (González Martínez et al., 2021; Sánchez Gómez et al., 2025).



Mercado del glicerol y sus alternativas de valorización

Las aplicaciones comerciales tradicionales del glicerol están estrechamente relacionadas con su uso como aditivo o materia prima en la formulación de productos cosméticos, artículos de cuidado personal, alimentos, medicamentos y derivados del tabaco, así como en la síntesis de resinas alquídicas, poliuretanos y explosivos. Durante los últimos años, el marcado auge en la producción mundial de biodiésel ha incrementado drásticamente la disponibilidad de glicerina cruda, generando una profunda sobreoferta en el mercado. A causa de esta saturación, los precios de la glicerina cruda han caído vertiginosamente, llegando a cotizarse en valores sumamente bajos e incluso advirtiéndose que en un futuro podría representar un costo neto negativo que afecte la rentabilidad de la industria del biodiésel. Por el contrario, los precios de la glicerina refinada de alta pureza (grados técnico, USP y FCC) se han mantenido fuertes y relativamente estables, impulsados por la demanda constante en los sectores farmacéutico, alimenticio y de bienes de consumo. El mercado de la glicerina cruda seguirá siendo débil en la medida en que existan grandes inventarios disponibles de este componente sin refinar. Una alternativa para generar valor a esta corriente, y quizá la más elemental de todas, es su refinación y purificación fisicoquímica para alcanzar grados técnicos o farmacéuticos. No obstante, a la par de la purificación, se están desarrollando diversos usos alternativos para absorber este abundante biomaterial. La comercialización de nuevas tecnologías de valorización incrementaría el potencial para mejorar la economía global de la producción de biodiésel. Estos proyectos de aprovechamiento abarcan desde su inclusión como suplemento energético en las dietas y la alimentación de rumiantes y cerdos, hasta su conversión biológica y termoquímica para la producción de hidrógeno, biogás y metano. Finalmente, diversas revisiones científicas han demostrado la enorme importancia comercial de la glicerina y su viabilidad como materia prima para sintetizar compuestos de alto valor agregado mediante rutas de transformación que incluyen la oxidación, hidrogenólisis, esterificación, eterificación, pirólisis, gasificación y el empleo de vías biotecnológicas.

Procesos de purificación de glicerina

En el ámbito experimental o de laboratorio, la separación del sistema bifásico resultante de la transesterificación (el cual contiene biodiésel, glicerol, jabones y sales como el metóxido de sodio) se realiza habitualmente utilizando embudos de decantación. Este método permite que los jabones y las



impurezas polares permanezcan retenidos en la capa pesada de glicerol crudo. Posteriormente, la fase ligera correspondiente a los ésteres debe ser calentada hasta los 85 °C con el fin de evaporar y recuperar el metanol residual (Posada-Duque & Cardona-Alzate, 2010).

Por el contrario, en el ámbito industrial, la glicerina cruda se refina a través de un tren de separación más complejo que inicia con un proceso de filtración, seguido por la mezcla con aditivos químicos (ácidos fuertes) que permiten la precipitación de las sales. Finalmente, se somete a una destilación fraccionada al vacío para producir los diferentes grados de pureza que exige el mercado comercial (por ejemplo: grado técnico, destilado amarillo y los grados de alta pureza establecidos por la USP o FCC). Asimismo, la purificación puede llevarse a cabo mediante métodos intensivos de menor consumo energético, como la filtración a través de una serie de resinas de intercambio iónico (Posada-Duque & Cardona-Alzate, 2010).

Técnicas convencionales para purificar la glicerina

La destilación térmica fraccionada es el método más comúnmente utilizado a nivel industrial para purificar la glicerina. Es una tecnología madura que permite obtener glicerina de altísima pureza con altos rendimientos; sin embargo, es un proceso que demanda un consumo energético sumamente elevado. Debido a la alta capacidad calorífica del glicerol, su vaporización requiere un gran suministro de energía térmica (Posada-Duque & Cardona-Alzate, 2010).

Como alternativa convencional, el intercambio iónico también ha sido aplicado para desmineralizar y purificar la glicerina. No obstante, los altos contenidos de sales presentes en el efluente crudo hacen que esta técnica pierda su viabilidad económica a gran escala. El costo operacional asociado a la regeneración química de las resinas se vuelve prohibitivo cuando el contenido de sales supera el 5% en peso, una concentración que se encuentra comúnmente en las corrientes de glicerina provenientes de la industria del biodiésel (Posada-Duque & Cardona-Alzate, 2010).

Técnicas alternativas para purificar la glicerina

Para mitigar los altos costos energéticos, se han desarrollado técnicas alternativas patentadas y comerciales para la purificación de la glicerina originaria del biodiésel (como la tecnología Ambersep BD50). La particularidad de estos procesos modernos radica en la utilización inicial de un separador



cromatográfico que retira eficientemente una gran cantidad de las sales y ácidos grasos libres sin necesidad de cambio de fase (Posada-Duque & Cardona-Alzate, 2010).

El refinado es procesado posteriormente en una unidad evaporadora/cristalizadora, la cual retira las sales remanentes de forma cristalina sólida. Esta solución técnica es altamente ecológica, ya que evita la producción de efluentes líquidos secundarios en la planta de purificación. Mediante este proceso, es posible obtener una glicerina con una pureza del 99.5% en peso. Si el mercado requiere producir una glicerina de calidad superior o farmacéutica (con un contenido de sales ínfimo, de entre 5 y 10 ppm), el producto puede atravesar una etapa final en una unidad de desmineralización de intercambio iónico. En conjunto, este diseño de proceso presenta un requerimiento energético drásticamente menor en comparación con el proceso de destilación tradicional (Posada-Duque & Cardona-Alzate, 2010).

Saponificación: Fundamentos y estructura química

La saponificación consiste en la formación de jabón mediante la hidrólisis alcalina de una materia grasa. En este proceso químico, los ácidos grasos se separan de la molécula a la que se encuentran originalmente esterificados como un glicerol en el caso de los triglicéridos, o una esfingosina para formar sus respectivas sales. Por consiguiente, en términos generales, cualquier lípido que contenga en su estructura al menos un ácido graso (tales como triglicéridos, ceras, esfingolípidos y glicerofosfolípidos) es susceptible de ser saponificado (Campos Colorado & Salazar Alvarado, s.f.).

Las sales de ácidos grasos resultantes pueden ser de sodio o de potasio, lo cual depende intrínsecamente del álcali empleado en la reacción. La utilización de hidróxido de sodio (NaOH) favorece la formación de jabones sólidos, mientras que el uso de hidróxido de potasio (KOH) produce sales que dan lugar a jabones líquidos o de consistencia más blanda (Campos Colorado & Salazar Alvarado, s.f.).

A nivel molecular, el jabón derivado de un ácido carboxílico se caracteriza por poseer una estructura dual o anfipática, cualidad de la que se deriva su potente acción emulsificante y limpiadora. Por un lado, la molécula cuenta con un extremo polar iónico donde el anión del grupo carboxilo ($-\text{COO}^-$) se encuentra equilibrado con el catión alcalino (Na^+ o K^+). Al igual que el cloruro de sodio y otras sustancias iónicas, este extremo es marcadamente hidrofílico y tiende a disolverse con gran facilidad en el agua.

Por otro lado, este grupo iónico se encuentra unido mediante enlaces covalentes a una extensa cadena alifática no polar, compuesta por grupos metileno ($-\text{CH}_2-$) y finalizada en un grupo metilo ($-\text{CH}_3$). Esta



larga cola hidrocarbonada es hidrofóbica y presenta una estructura química homóloga a las cadenas de los hidrocarburos derivados del petróleo, como el aceite mineral o la gasolina. Debido a esta naturaleza lipofílica, la parte no polar de la molécula de jabón repele los medios acuosos, pero tiende a disolverse rápidamente en aceites, grasas y materiales afines. La interacción simultánea de ambos extremos permite que el jabón encapsule las partículas de grasa insoluble en el agua, formando micelas que posteriormente pueden ser enjuagadas y removidas.

Formulación y elaboración de jabón a partir de glicerina

El vocablo jabón proviene del latín tardío *sapo* o *sapōnis* (derivado a su vez del germánico *saipōn*). En el contexto de la valorización de residuos, el jabón en barra elaborado a partir de la glicerina obtenida como subproducto del biodiésel resulta ser un material con excelentes propiedades fisicoquímicas. Gracias a su alta capacidad de desengrase, es un producto ideal para el trabajo pesado en talleres o entornos industriales. No obstante, mediante la adición controlada de fragancias y colorantes, este jabón puede adaptarse fácilmente para el uso doméstico y el cuidado personal diario, volviéndolo un producto sumamente atractivo para el consumidor final (Campos Colorado & Salazar Alvarado, s.f.).

Los ingredientes fundamentales utilizados en la formulación de este tipo de jabón sólido incluyen la glicerina, agua y un álcali fuerte, generalmente hidróxido de sodio (NaOH), conocido comúnmente como lejía o sosa cáustica. Las propiedades de la pastilla de jabón dependen estrechamente de la dosificación de estos compuestos: se ha evidenciado que una mayor proporción de agua incrementa la capacidad del jabón para producir espuma. Por el contrario, un aumento en la concentración de lejía generará un jabón de gran dureza con un alto poder para cortar la grasa, aunque con la desventaja de que su uso directo puede provocar resequedad en la piel (Campos Colorado & Salazar Alvarado, s.f.).

En cuanto a la metodología de preparación, el proceso inicia con la filtración de la glicerina cruda para eliminar impurezas sólidas indeseadas. Dado que la matriz puede ser muy viscosa, la aplicación de calor permite que retorne a un estado líquido más fluido, lo que facilita su paso a través de medios filtrantes de malla fina o tela (filtros convencionales). La cantidad de reactivos a utilizar dependerá directamente del volumen total de glicerina que se requiere procesar. Los parámetros operativos sugieren que una relación del 25% de agua (aproximadamente un litro de agua por cada galón de glicerina) proporciona las mejores características de espumado y limpieza. Para el agente alcalino, la dosificación recomendada



es de 38,5 gramos de lejía por cada litro de agua (equivalente a 5,5 onzas por galón de glicerina), garantizando así una reacción efectiva y un producto de alta calidad (Campos Colorado & Salazar Alvarado, s.f.).

Clasificación y tipos de jabones

En el ámbito de la química cosmética y del cuidado personal, las propiedades físicas y químicas del producto final dependen directamente de las materias primas empleadas en su formulación, lo que permite su clasificación en diversas categorías con aplicaciones específicas (Campos Colorado & Salazar Alvarado, s.f.). De acuerdo con la literatura, los principales tipos son:

Jabones comunes o convencionales: De consistencia sólida y alta capacidad espumante, son elaborados tradicionalmente mediante la saponificación de sebo grasoso empleando bases alcalinas de sodio o potasio (Campos Colorado & Salazar Alvarado, s.f.). Son aptos para la higiene general de todo tipo de pieles e incluso para el lavado capilar (Campos Colorado & Salazar Alvarado, s.f.).

Jabones humectantes: Su formulación se encuentra enriquecida con aceites vegetales (tales como los de oliva o avellana), cremas hidratantes o glicerina añadida (Campos Colorado & Salazar Alvarado, s.f.). Su uso está indicado para la recuperación y cuidado de pieles secas o aquellas que han sufrido daños y desgaste por el uso constante de detergentes abrasivos (Campos Colorado & Salazar Alvarado, s.f.).

- ❖ **Jabones suaves:** Al incorporar aguas termales en su matriz de composición, están diseñados específicamente para minimizar reacciones adversas, siendo altamente recomendados para pacientes con pieles sensibles (Campos Colorado & Salazar Alvarado, s.f.).
- ❖ **Jabones líquidos:** Presentan una fluidez reológica similar a una loción limpiadora, variando su eficacia y poder desengrasante en función de la concentración y formulación específica de cada producto (Campos Colorado & Salazar Alvarado, s.f.).
- ❖ **Jabones dermatológicos:** Incorporan agentes limpiadores sintéticos de muy baja agresividad combinados con extractos vegetales (Campos Colorado & Salazar Alvarado, s.f.). Su mecanismo de acción fisiológica contribuye a cerrar los poros, aliviar irritaciones y mitigar la aparición de acné o comedones sin provocar la descamación de la piel, siendo ideales para

afecciones dermatológicas crónicas, puntuales o estacionales (Campos Colorado & Salazar Alvarado, s.f.).

- ❖ Jabones de glicerina: Se caracterizan por poseer un pH neutro y un efecto de limpieza prolongado en comparación con los jabones convencionales (Campos Colorado & Salazar Alvarado, s.f.). Dependiendo de las condiciones de su síntesis (como la cantidad de lejía utilizada), pueden no presentar un efecto humectante y, por el contrario, tender a reseca la dermis; por esta razón, se recomiendan frecuentemente como tratamiento para el control de pieles grasas (Campos Colorado & Salazar Alvarado, s.f.).
- ❖ Jabones terapéuticos: Constituyen formulaciones de prescripción rigurosamente médica, diseñadas para el tratamiento de patologías cutáneas específicas, tales como la psoriasis, micosis o para procedimientos clínicos de limpieza profunda de cutis (Campos Colorado & Salazar Alvarado, s.f.).
- ❖ Jabones aromáticos: Representan la variante de mayor consumo comercial a nivel masivo (Campos Colorado & Salazar Alvarado, s.f.). Se distinguen por la adición de esencias frutales o florales que les confieren propiedades relajantes; sin embargo, debido a la presencia de estos compuestos odoríferos, su uso se desaconseja en individuos alérgicos o con alta sensibilidad cutánea (Campos Colorado & Salazar Alvarado, s.f.).

Normativas y Regulación Sanitaria en Productos de Belleza

En la elaboración y comercialización de productos de cuidado personal y de tocador, como los jabones formulados a base de glicerina, es de vital importancia cumplir con regulaciones estrictas para garantizar la inocuidad y la seguridad de los consumidores. A nivel internacional, los ingredientes orientados a este tipo de aplicaciones cosméticas deben satisfacer los rigurosos estándares de pureza, calidad y estabilidad estipulados por la United States Pharmacopeia (USP) y el Food Chemicals Codex (FCC), cuyas directrices y métodos de prueba son estrechamente vigilados por organismos como la Food and Drug Administration (FDA).

En el contexto regional, la Norma Oficial Mexicana NOM-141-SSA-1995 (ratificada en 1997) es la directriz que establece los requisitos obligatorios de información comercial que debe contener el rotulado y la etiqueta de los productos de perfumería y belleza preenvasados, independientemente de su



capacidad o volumen. El propósito fundamental de esta normativa es transparentar la composición de los artículos para brindar al usuario una mejor opción de compra informada y segura, asegurando preventivamente que la aplicación del cosmético no represente ningún tipo de riesgo para la salud humana.

Por consiguiente, el cabal cumplimiento de las estipulaciones de esta norma es de estricta observancia y de carácter obligatorio para todas las personas, sean físicas o morales, que se encuentren dedicadas directa o indirectamente a los procesos de fabricación, formulación o importación de esta clase de bienes de consumo.

METODOLOGÍA.

Reactivos:

La glicerina utilizada para la elaboración de jabones se tomó de la producción de biodiesel. Para preparar todas las soluciones que se necesitan en el proceso de saponificación, se utiliza agua de la llave, los químicos necesarios en el proceso de saponificación a pequeña escala son ácido (H_2SO_4 , Sigma-Aldrich), base (NaOH, J.T. Baker) y alcohol grado 96°.

Materiales:

- ❖ Agitadores magnéticos.
- ❖ Embudo de separación.
- ❖ Vasos de precipitados.
- ❖ Termómetro.
- ❖ Balanza analítica
- ❖ Esencias.
- ❖ Colorantes y equipo mínimo de seguridad (gafas, guantes y peto).

Tratamiento Previo y Purificación de la Glicerina

El tratamiento de la glicerina cruda inicia con la evaporación del metanol residual mediante destilación a una temperatura controlada de 80 °C. Una vez eliminado el alcohol, se extrae una muestra de 500 ml de la glicerina tratada y se transfiere a un embudo de separación. A continuación, se adiciona 1 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado. La mezcla se somete a agitación continua durante un periodo de 30 minutos y, finalmente, se deja en reposo durante 8 horas para permitir la decantación.





Figura 1.- Muestra del glicerol mezclado con el H₂SO₄.



Transcurrido el tiempo de reposo, el sistema en el embudo de separación se estratifica en tres fases claramente diferenciadas: una fase superior compuesta por restos de biodiésel, una fase intermedia de glicerina tratada, y una fase inferior constituida por una solución salina. Para los fines de este proceso, se extrae y recolecta exclusivamente la fase media. Esta fracción recuperada corresponde a una glicerina con un nivel de pureza estimado entre el 50 % y el 60 %, la cual se reserva para ser utilizada posteriormente como aditivo y materia prima fundamental en la formulación y síntesis de un jabón base.

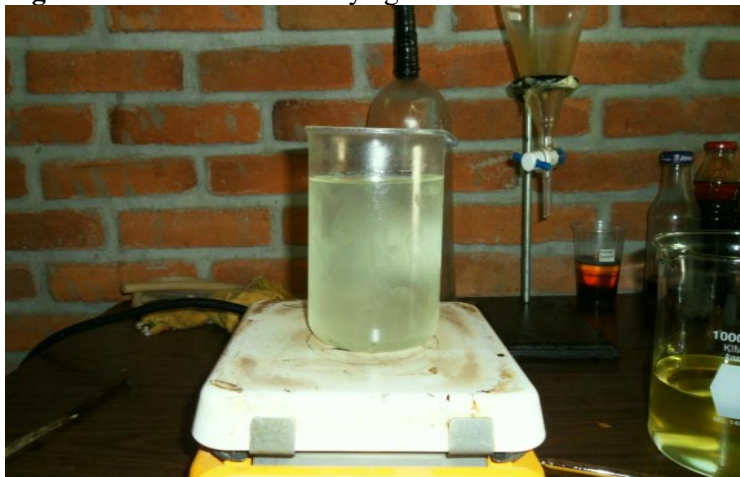
Síntesis del Jabón Base a partir de Glicerina Recuperada.

Para la formulación del jabón experimental, se emplearon los siguientes componentes: 300 g de aceite de canola, 300 g de etanol al 96°, 60 g de la fase de glicerina de biodiésel previamente tratada, 47 g de hidróxido de sodio (NaOH) de grado analítico y 115 g de agua.

Procedimiento de Saponificación (Fase Inicial).

El proceso de síntesis inició con la preparación de una solución alcalina, para lo cual se disolvieron 47 g de NaOH en 115 g de agua. Esta mezcla se sometió a calentamiento bajo agitación hasta alcanzar una temperatura estable de 70 °C.

Figura 2.- Mezcla de NaOH y agua.



De manera simultánea y en un recipiente independiente, se calentó el aceite de canola hasta igualar dicha temperatura (70 °C), garantizando así el equilibrio térmico necesario entre ambas fases antes de proceder con la reacción de saponificación.

Figura 2.- Muestra de aceite de canola calentándose.



Reacción de Saponificación y Homogeneización

Posteriormente, la solución alcalina se incorpora al aceite de canola precalentado. Durante esta adición, es perceptible un cambio de coloración en la mezcla. Es imperativo llevar a cabo este procedimiento bajo una campana de extracción de gases, dado que la reacción libera vapores perjudiciales para la salud. Una vez integrados los reactivos, el sistema se somete a calentamiento hasta alcanzar los 80 °C. Simultáneamente, se aplica agitación magnética constante para homogeneizar la emulsión, manteniéndose este proceso hasta obtener una fase de consistencia uniforme y completamente libre de grumos.

Figura 3.- Mezclando los ingredientes (izquierda) Removiendo para eliminar grumos (derecha).



Adición de Aditivos y Moldeado

En la etapa final del proceso de mezclado, se incorporaron esencias y agentes colorantes a la matriz saponificada. Una vez homogeneizada la formulación, la mezcla resultante se vertió en moldes específicos, permitiendo su reposo para favorecer el proceso de solidificación a temperatura ambiente.

Figura 4.- Muestra del jabón con esencias y colorantes listo para solidificar.



RESULTADOS.

Acondicionamiento y purificación de la glicerina cruda.

El tratamiento fisicoquímico aplicado a la glicerina derivada de la producción de biodiésel demostró ser un método altamente eficiente para la remoción de impurezas críticas. Tras someter el efluente a un proceso inicial de destilación a 80 °C para evaporar el metanol residual, la acidificación con ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado y un periodo de decantación de 8 horas permitieron una separación de fases exitosa. Como resultado de esta etapa, se observó la formación de tres capas bien definidas en el

embudo de separación: una fase superior compuesta por restos de biodiésel, una fase media correspondiente a la glicerina tratada y una fase inferior constituida por una solución salina.

Al aislar la fase media, se obtuvo inicialmente una fracción con una pureza aproximada del 50 % al 60 %. Tras el proceso completo de purificación, los análisis de composición química revelaron un incremento sustancial en la calidad del subproducto, donde el contenido de glicerol alcanzó un 81.75 %, logrando duplicar su concentración inicial. Asimismo, el metanol tóxico residual se redujo drásticamente a un 0.11%, mientras que el contenido de agua se estabilizó en 6.63% y las cenizas en 7.25%. El bajo porcentaje de Materia Orgánica No Glicerol (MONG), cuantificado en 4.37%, es un indicador clave de que las condiciones de baja temperatura del proceso purificadorio no favorecieron reacciones indeseables de oxidación, polimerización o descomposición del glicerol. Estos parámetros confirman que la glicerina purificada es óptima para su reincorporación en nuevas cadenas de valor.

Síntesis y formulación del jabón sólido.

La glicerina tratada obtenida de la fase media fue utilizada con éxito como aditivo activo para la elaboración de bases de jabón. La formulación experimental consistió en la preparación de una solución alcalina mediante la disolución de 47 g de hidróxido de sodio (NaOH) en 115 g de agua, la cual se calentó hasta alcanzar los 70 °C. Simultáneamente, se precalentaron 300 g de aceite de canola hasta alcanzar el equilibrio térmico a la misma temperatura (70 °C). Posteriormente, la solución alcalina se incorporó al aceite bajo una campana de extracción de gases, observándose un cambio de coloración inmediato en la mezcla. Al integrar 300 g de etanol (96°) y 60 g de la glicerina purificada, el sistema se sometió a un calentamiento controlado de 80 °C bajo agitación magnética constante. Este procedimiento térmico y mecánico garantizó la correcta hidrólisis alcalina (saponificación), eliminando la presencia de grumos y dando como resultado una emulsión completamente uniforme.

Curado y características del producto final.

Una vez lograda una emulsión homogénea, se procedió a la adición de colorantes y esencias aromáticas para mejorar las propiedades organolépticas de la matriz, vertiéndose posteriormente en moldes para favorecer su solidificación. El proceso de maduración y curado se llevó a cabo durante un periodo de dos semanas en un ambiente cálido y seco. Durante esta etapa, el exceso de alcohol y humedad se



evaporó satisfactoriamente, permitiendo que las pastillas de jabón se endurecieran y consolidaran su estructura física final.

Figura 5.- Espuma del jabón.



El producto terminado demostró poseer una excelente capacidad de limpieza y desengrase, característica que lo hace ideal para el trabajo pesado en entornos industriales o de taller. Además, la incorporación de fragancias y pigmentos mejoró significativamente su apariencia, convirtiéndolo en un jabón altamente atractivo y seguro para el uso doméstico diario. En conjunto, estos resultados validan la viabilidad técnica de transformar un residuo peligroso de la industria del biodiésel en un bien de consumo comercial con alto valor agregado.

Recomendaciones y Perspectivas Futuras.

A partir de los resultados obtenidos en el presente estudio, se proponen las siguientes recomendaciones metodológicas para optimizar el proceso de aprovechamiento de la glicerina cruda:

Caracterización fisicoquímica estandarizada del producto final: Se sugiere realizar pruebas formales de calidad sobre las matrices de jabón obtenidas, tales como la medición de pH, índice de humedad, capacidad de espumado y dureza. Asimismo, es recomendable evaluar el producto bajo normativas oficiales vigentes aplicables a productos de higiene y belleza, como la NOM-141-SSA1-1995, para garantizar su seguridad dermatológica.

Sustitución y evaluación de agentes alcalinos y ácidos: Se recomienda experimentar con hidróxido de potasio (KOH) en lugar de hidróxido de sodio (NaOH) durante la etapa de saponificación, lo cual permitiría derivar la producción hacia jabones líquidos. Adicionalmente, durante la purificación, se

podría evaluar el uso de ácido fosfórico (H_3PO_4) para la neutralización, con el objetivo de precipitar fosfato de potasio, una sal con alto potencial como fertilizante agrícola.

Optimización de las variables de proceso: Es pertinente realizar un diseño de experimentos (DOE) para evaluar el impacto de distintas temperaturas, tiempos de agitación y concentraciones de ácido sulfúrico en el rendimiento de la recuperación de glicerol y en la reducción del índice de Materia Orgánica No Glicerol (MONG).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aimaretti, N., Clementz, A., Chiappini, F., & Yori, J. C. (2008). Aprovechamiento de la glicerina obtenida durante la producción de biodiesel. *Invenio*, 11(20), 133-144. www.redalyc.org
- Ayoub, M., & Abdullah, A. Z. (2012). Critical review on the current scenario and significance of crude glycerol resulting from biodiesel industry towards more sustainable renewable energy industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 2671–2686. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.054>
- Badia-Fabregat, M., Rago, L., Baeza, J. A., & Guisasola, A. (2019). Hydrogen production from crude glycerol in an alkaline microbial electrolysis cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44, 17204–17213. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.03.193>
- Campos Colorado, S. L., & Salazar Alvarado, S. E. (s.f.). Diseño de una planta industrial productora de biodiesel a partir de la semilla de higuera en el valle de Condebamba, Cajamarca. Facultad de Ingeniería, Universidad Privada del Norte.
- Cardeño, F., Gallego, L. J., & Ríos, L. A. (2011). Refinación de la fase glicerina del biodiesel de aceite de palma empleando ácidos minerales. *Información Tecnológica*, 22(6), 15-24. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642011000600003>
- Carlos Hernández, S., & Díaz Jiménez, M. L. V. (2018). Evaluación de un proceso industrial de producción de biodiesel mediante análisis de ciclo de vida. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34, 453-465.
- Delgado, A., & Galindo, J. L. (2024). El glicerol en la alimentación de animales rumiantes: ventajas de su utilización. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 58.



- Ferrero, A. J., Rosa, I. M., & Veneciano, E. (s.f.). Proceso de purificación de la glicerina obtenida del biodiesel a pequeña escala. CITELAC, Facultad Regional Villa María, Universidad Tecnológica Nacional.
- González Martínez, C. D., Guzmán Sánchez, J. A., Salazar Henao, D., & Arbeláez Pérez, O. F. (2021). Producción de acetinas (aditivos para combustibles) a partir de glicerol. *Lámpsakos*, (25), 38-58. <https://doi.org/10.21501/21454086.3816>
- Monteiro, M. R., Kugelmeier, C. L., Pinheiro, R. S., Batalha, M. O., & da Silva César, A. (2018). Glycerol from biodiesel production: Technological paths for sustainability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 88, 109–122. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.019>
- Nordin, I., Elofsson, K., & Jansson, T. (2024). Cost-effective reductions in greenhouse gas emissions: Reducing fuel consumption or replacing fossil fuels with biofuels. *Energy Policy*, 190, 114138.
- Ooi, T. L., Yong, K. C., Dzulkefly, K., Wanyunus, W. M. Z., & Hazimah, A. H. (2001). Crude glycerine recovery from glycerol residue waste from a palm kernel oil methyl ester plant. *Journal of Oil Palm Research*, 13(2), 16–22.
- Peña Reinoso, M. D., & Ordóñez Landínez, P. A. (2024). Aprovechamiento del glicerol producido en la industria de biodiésel en Colombia. Universidad de América.
- Posada-Duque, J. A., & Cardona-Alzate, C. A. (2010). Análisis de la refinación de glicerina obtenida como coproducto en la producción de biodiésel. *Ingeniería y Universidad*, 14(1), 9–27.
- Quispe, C. A. G., Coronado, C. J. R., & Carvalho, J. A. (2013). Glycerol: Production, consumption, prices, characterization and new trends in combustion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 475–493. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.017>
- Rojas González, A. F., et al. (2010). Alternativas de catálisis heterogénea en la transesterificación. [Citado en el marco teórico de procesos no contaminantes].
- Sánchez Gómez, J. A., Gómez Castro, F. I., & Hernández, S. (2025). Glicerol renovable: retos y oportunidades para su valorización en México. *Ciencia Nicolaita*, 93, 78-84. <https://doi.org/10.35830/cn.vi93.843>



- Sandid, A., Spallina, V., & Esteban, J. (2024). Glycerol to value-added chemicals: State of the art and advances in reaction engineering and kinetic modelling. *Fuel Processing Technology*, 253, 108008. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2023.108008>
- Thompson, J. C., & He, B. B. (2006). Characterization of crude glycerol from biodiesel production from multiple feedstocks. *Applied Engineering in Agriculture*, 22(2), 261–265.
- Zambón, F. N., et al. (2010). Producción de hidrógeno a partir de glicerol: Estudio de prefactibilidad. ASADES. [Citado en el uso energético del hidrógeno].

