

<https://doi.org/10.47460/minerva.v5i13.153>

Obtención de glicerol a partir de la transesterificación de aceites comestibles usados

Steeven Jose Analuisa Mero
<https://orcid.org/0009-0005-5338-7506>
sanaluisa8209@utm.edu.ec
Universidad Técnica de Manabí
Portoviejo, Ecuador

Luis Alberto Moreno Ponce
<https://orcid.org/0009-0004-1014-1322>
lmoreno7867@utm.edu.ec
Universidad Técnica de Manabí
Portoviejo, Ecuador

Segundo Alcides García Muentes
<https://orcid.org/0000-0002-8152-3406>
segundo.garcia@utm.edu.ec
Universidad Técnica de Manabí
Portoviejo, Ecuador

Ramon Eudoro Cevallos Cedeño
<https://orcid.org/0000-0002-8583-4674>
ramon.cevallos@utm.edu.ec
Universidad Técnica de Manabí
Portoviejo, Ecuador

Ariana Milena García Bowen
<https://orcid.org/0009-0007-8887-9644>
agarcia4908@utm.edu.ec
Universidad Técnica de Manabí
Portoviejo, Ecuador

Recibido (13/11/2023), Aceptado (11/01/2024)

Resumen: En este trabajo se presenta un estudio relacionado con la obtención de glicerol como subproducto de la transesterificación de aceites comestibles usados para ser utilizado en la elaboración hidrogel. Los principales resultados muestran que es posible obtener un glicerol puro y también refinado, además, se observó que los parámetros estuvieron dentro de la normativa presentada por varios autores. También se pudo observar que el glicerol con mejores propiedades fue el obtenido a los 60min a una temperatura de 60°C. De esta manera, es posible afirmar que es viable el uso de aceites desechados como una alternativa para su aplicación en la elaboración de productos que benefician a la industria química, cosmética y farmacéutica, como es el caso del hidrogel, evitando así su incorporación en el ambiente.

Palabras clave: transesterificación, hidrogel, aceite reciclado.

Obtaining glycerol from the transesterification of used edible oils.

Abstract.- This paper presents a study related to obtaining glycerol as a by-product of the transesterification of edible oils used to be used in the preparation of hydrogel. The main results show that it is possible to obtain a pure and refined glycerol, in addition, it was observed that the parameters were within the regulations presented by several authors. It was also observed that the glycerol with better properties was obtained at 60 minutes at a temperature of 60°C. In this way, it is possible to affirm that it is viable to use discarded oils as an alternative for their application in the elaboration of products that benefit the chemical, cosmetic, and pharmaceutical industries, as is the case of hydrogel, thus avoiding their incorporation into the environment.

Keywords: transesterification, hydrogel, recycled oil.



I. INTRODUCCIÓN

De manera tradicional la glicerina ha sido obtenida mediante diferentes procesos, por ejemplo: producción de ácidos grasos, fabricación de jabones, obtención de metil-ésteres y por otros métodos sintéticos como pueden ser la fermentación microbiana. En la actualidad las grandes cantidades de producción de biodiesel han dado lugar a la obtención de la glicerina debido a que es uno de los subproductos de la transesterificación de grasas animales y vegetales [1]. En este sentido, es importante aclarar que la transesterificación de aceite reciclado es un proceso químico utilizado para convertir aceites usados o reciclados, como el aceite de cocina usado, en biodiesel. Este proceso es esencialmente una reacción de esterificación que implica la sustitución de grupos alquilo en los triglicéridos del aceite con grupos alquilo del metanol o etanol, formando ésteres metílicos o etílicos de ácidos grasos, que son los componentes principales del biodiesel.

Cuando se realiza la transesterificación de grasas animales y vegetales se ha observado que este subproducto llamado glicerina corresponde aproximadamente al 10% del total obtenido incluyendo el biodiesel. Según la literatura se estima que anualmente se produce más de 2 millones de toneladas ofertadas en el mercado de este producto. Por lo que se considera según la reacción de transesterificación por cada 10 kilogramos de biodiesel obtenido también se genera 1 kilogramo de glicerina. Es considerado que la glicerina existente solo una fracción insignificante es de origen sintético. En lo referente a la purificación y en la aplicación de la glicerina cura, han captado un gran interés en la comunidad científica a nivel mundial como consecuencia del acelerado crecimiento de la producción de biodiesel y su marcada tendencia [2].

Por otro lado, los aceites vegetales son muy utilizados en el hogar, restaurantes, hostales, entre otros. En mayor proporción estos se utilizan en el proceso de fritura que sufre cambios y modificaciones químicas necesarias para su aplicación y posterior eliminación. Si se vierte directamente aceite de cocina usado en el fregadero o inodoro, puede ser una fuente de contaminación de ríos, lagos, o mares, causando problemas en las redes de saneamiento y desbordamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Como fuente de contaminación, un litro de aceite usado contiene 5.000 veces más contaminantes del resto de agua residual que circula por las redes de alcantarillado y saneamiento, y puede contaminar 40.000 litros de agua, lo que equivale al consumo anual de agua de una persona en su domicilio [3].

La producción de biodiesel a partir de aceites usados podría ser una buena alternativa en la producción tanto de metil-ésteres como de glicerina, puesto que es una de la materia prima más económica usada en la producción del biocombustible, ya que al darle esta aplicación se estaría contribuyendo a disminuir el impacto ambiental que producen estos residuos [4] manifiesta que el mecanismo de reacción se realiza de la siguiente manera, los triglicéridos de los aceites se convierten en diglicéridos formándose la primera molécula de metil-ésteres, luego el diglicérido se convierte en monoglicérido produciéndose la segunda molécula de metil-ésteres y finalmente monoglicérido forma la tercera molécula de metil-ésteres formándose además la primera molécula de glicerina. Resulta interesante indicar que el catalizador que es el hidróxido de sodio, previamente se hace reaccionar con el metanol, formándose un alcóxido de sodio y luego esta mezcla se la adiciona sobre el aceite, una vez que este último este a 60°C [5].

El presente trabajo tiene como objetivo, la obtención del glicerol o también llamada glicerina como subproducto de la transesterificación de aceites comestibles usados, y su posterior aplicación en la elaboración de hidrogel, demostrando con ello una alternativa para que los aceites usados contaminen en menor medida el medio ambiente y dándole un uso para obtener un subproducto comerciable.

II. DESARROLLO

La transesterificación de aceite reciclado es un proceso químico que tiene sus raíces en la historia de la química orgánica y la producción de biodiesel. En este sentido, el concepto fundamental de la transesterificación se basa en la química de los ésteres, que son compuestos químicos derivados de ácidos y alcoholes. A lo largo del siglo XIX, los científicos comenzaron a investigar las propiedades y las reacciones de los ésteres, lo que allanó el camino para la comprensión de la transesterificación. La idea de utilizar aceites vegetales y grasas animales como fuente de energía no es nueva [5]. En la década de 1850, el inventor Rudolf Diesel experimentó con varios combustibles para su motor diésel, incluyendo aceites vegetales como el aceite de cacahuete. Sin embargo, fue en el siglo XX cuando se popularizó el uso de aceites vegetales como combustibles alternativos.

La transesterificación, como método para producir biodiesel, comenzó a desarrollarse de manera más sistemática en la década de 1930. En esta época, se llevaron a cabo investigaciones para mejorar la calidad de los combustibles diésel a partir de aceites vegetales. Se descubrió que la transesterificación era una forma efectiva de reducir la viscosidad de estos aceites y hacerlos más adecuados para su uso en motores diésel [6]. A lo largo de las décadas de 1940 y 1950, se hicieron avances significativos en la comprensión y la optimización de la transesterificación como proceso químico. Se desarrollaron catalizadores más eficientes y se mejoraron las técnicas de purificación del biodiesel resultante. A medida que creció la conciencia sobre los problemas ambientales y la necesidad de reducir la dependencia de los combustibles fósiles, la producción de biodiesel mediante transesterificación se expandió en la década de 1970 y posteriores. Se desarrollaron estándares de calidad y se promovió la investigación en este campo.

Hoy en día, la transesterificación de aceite reciclado es una técnica establecida y ampliamente utilizada para la producción de biodiesel en todo el mundo. Además de ser una forma de reciclar aceites usados, el biodiesel resultante es considerado una alternativa más limpia y renovable a los combustibles diésel convencionales, lo que contribuye a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y al impulso de la sostenibilidad ambiental [7].

Este proceso es esencialmente una reacción de esterificación que implica la sustitución de grupos alquilo en los triglicéridos del aceite con grupos alquilo del metanol o etanol, formando ésteres metílicos o etílicos de ácidos grasos, que son los componentes principales del biodiesel. Los principales pasos para realizar el proceso se describen a continuación:

Pretratamiento del aceite: Antes de la transesterificación, el aceite reciclado debe someterse a un proceso de pretratamiento para eliminar impurezas, como partículas sólidas, agua y compuestos no deseados, que podrían afectar la eficiencia del proceso.

Mezcla con alcohol: En el proceso de transesterificación, se mezcla el aceite reciclado con un alcohol, típicamente metanol o etanol. Esta mezcla se lleva a cabo en presencia de un catalizador, que suele ser un álcali como el hidróxido de sodio o el hidróxido de potasio. El catalizador acelera la reacción química.

Reacción de transesterificación: Durante esta etapa, los ésteres metílicos o etílicos de los ácidos grasos se forman como resultado de la reacción entre el aceite y el alcohol en presencia del catalizador. Este proceso rompe los enlaces éster de los triglicéridos en el aceite y forma nuevos ésteres con el alcohol.

Separación de capas: La mezcla resultante se separa en dos fases: una fase de biodiesel, que es menos densa y se encuentra en la parte superior, y una fase de glicerina, que es más densa y se encuentra en la parte inferior. La glicerina es un subproducto de la transesterificación y se utiliza en diversas aplicaciones industriales.

Limpieza y purificación: El biodiesel se somete a procesos adicionales de limpieza y purificación para eliminar cualquier impureza residual, como restos de alcohol o catalizador. Esto es importante para garantizar la calidad del biodiesel resultante.

El biodiesel obtenido a través de la transesterificación de aceite reciclado es un combustible renovable que puede utilizarse como alternativa al diesel convencional en motores diésel. Es una forma de reciclar aceites usados y reducir la dependencia de los combustibles fósiles, lo que tiene beneficios tanto ambientales como económicos.

III. METODOLOGÍA

El trabajo fue realizado en la ciudad de Portoviejo, en Ecuador. Se utilizó una muestra de aceite usado con una cantidad aproximada de 20 litros semanales. A dicha muestra, se le realizó un pretratamiento, que consistió en la filtración simple para eliminar trazas de sólidos suspendidos y su posterior caracterización a través de un análisis fisicoquímico, con el fin de conocer la influencia que tendrían los mismos en la obtención del glicerol. Esto según lo establece la norma ASTM 6751.

A. Análisis fisicoquímico realizado

Densidad

Se obtuvo la densidad por medio del método del picnómetro. Se tomó un picnómetro de 25 ml, se pesó al vacío. Posteriormente, se fue colocando la muestra de aceite hasta el nivel señalado, dividiéndolo para 25, y con ello obteniendo la densidad en las unidades de g/ml.

Viscosidad

Para la viscosidad, se utilizó el viscosímetro de Oswald. Dicho método consiste en colocar en la ampolla la muestra líquida para posteriormente utilizar una pera y mediante el bombín hacer que esta suba por encima de la marca A, dejando en ese momento que fluya por su propio peso. Cuando su nivel pasa por A, se procede a utilizar un cronómetro para contar el tiempo que tarda en pasar hasta el trazo B, y teniendo con ello el tiempo necesario para la aplicación de la ecuación (1) [8].

Índice de acidez

Hidalgo [9] planteó que consiste en la realización de una valoración ácido-base. Basados en una reacción de neutralización, es posible determinar la concentración de un ácido conociendo la concentración de una base, utilizando la ecuación (1).

$$\%de\ acidez = \frac{V(KOH) \times N(KOH) \times meQ}{Pm} \times 100 \quad (1)$$

Dónde N es la Normalidad KOH = 0,09212, PM es el peso molecular Ácido Oleico (282,47 g/mol), Pm es el peso de la muestra, V(KOH) es el volumen gastado en cada valoración, mientras que el índice de acidez se calculó con la ecuación (2):

$$ia = \%ácidos\ grasos\ libres * 1,99 \quad (2)$$

Humedad

Para la determinación de la humedad se aplicó el método de secado, para esto la muestra se colocó en una capsula de porcelana previamente tarada y pesada y luego se llevó a una estufa a 100°C por un tiempo de una hora, finalmente se colocó en un desecador y a continuación se procedió a pesarla para determinar la cantidad de agua eliminada.

$$\%humedad = M_1 - \frac{M_2}{M_1} * 100 \quad (3)$$

En donde: M1=Masa de la muestra inicial; M2=Masa de la muestra final.

Cenizas

Respecto a la determinación de cenizas, se llevó un crisol a masa constante, colocándolo en la estufa a temperatura de 125 °C, posterior a ello se dejó enfriar y se pesó. En el crisol se colocaron 2 g de la muestra y carbonizó lentamente con el mechero, esto para evitar pérdidas por arrastre en el humo, hasta que cese su desprendimiento. Finalmente, la muestra fue calcinada a una temperatura de 500°C hasta obtener cenizas blancas, y posteriormente enfriado en el desecador y secado [10].

Índice de yodo

Este parámetro consiste en determinar el grado de instauración en muestras de grasas animales y vegetales, así como también en los metil-ésteres producto de la reacción de la transesterificación, el valor se expresa en g de I₂/100 g de muestra. Se determino el índice de yodo del aceite comestible usado, se prepararon soluciones de tetracloruro de carbono, reactivo de Wijs, luego se dejó esta solución en la oscuridad y finalmente se agregó solución de yoduro de potasio y luego se procedió a titular, el indicador utilizado es una solución de almidón al 1% es interesante recalcar que el indicador se le agrega una vez que vaya desapareciendo el color oscuro del yodo, hasta lograr el punto final de la reacción que es trasparente [11].

B. Transesterificación de la muestra y obtención del glicerol

Para la transesterificación, se utilizó el método de transesterificación alcalina, con relación molar 6:1; utilizando un matraz de 500 ml y una pastilla de agitación. Posterior se añadió 100 g del aceite, llevándolo a la plancha de calentamiento con agitación constante a temperatura de 60°C y agitación de 600 rpm. Cuando alcanzó la temperatura deseada, se añadió el catalizador, 1g de hidróxido de potasio y se tapó para dejar transcurrir el tiempo establecido (figura 1).

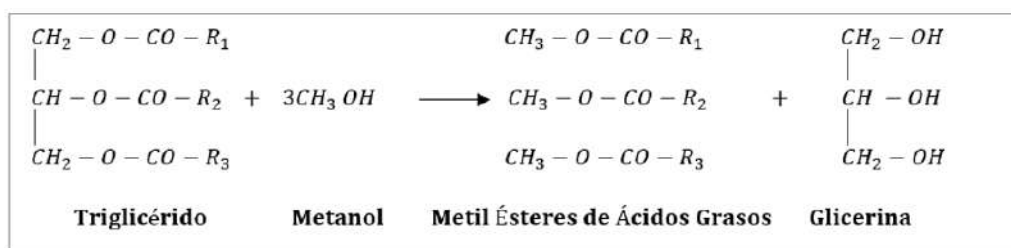


Figura 1. Reacción global de la transesterificación para la obtención de glicerina [12].

El tiempo establecido como variable de operación fue de 30, 45 y 60 min. En todos los casos, los ensayos se realizaron por triplicado para mayor precisión en los resultados. Después de la reacción, se separaron dos fases en la mezcla: una superior, el biodiesel; y otra inferior, de color más oscuro y viscosa, la glicerina que es el subproducto que requerido.

C. Análisis físico-químico al glicerol obtenido

Pretratamiento al glicerol

Se empleó 100 g de glicerol de cada tiempo para ser tratado con ácido sulfúrico al 1N, y carbón activado, esto con el fin de eliminar agua, metanol e impurezas presentes.

Posteriormente, se realizó el análisis fisicoquímico.

Aplicación del glicerol para la elaboración del hidrogel

Se procedió a tamizar el Carbocol (Ácido poliacrílico) hasta reducir las partículas; luego se añadieron 100 g de agua destilada y se homogenizó. A la mezcla homogenizada, se le añadieron 3,5 g de glicerina técnica (propano-1,2,3-triol) obtenida en la purificación de aceites residuales, más 150g de alcohol(etanol), los cuales se mezclaron mientras se añadieron gotas de trietanolamina (TEA), compuesto que al adicionarlo gradualmente aumentó la viscosidad de la mezcla; en el presente trabajo, se añadieron 4 gotas. Una vez obtenido hidrogel se procedió a envasarlo; el procedimiento se hizo por triplicado para cada muestra.

IV. RESULTADOS

En la tabla 1 se muestra la caracterización del aceite, se incluyen las unidades de cada una de las propiedades, así como la cantidad de análisis.

Tabla1. Resultados de la caracterización del aceite.

Propiedades	Unidad	Cantidad
Índice de yodo	g de yodo/ 100 g	69
Densidad	Kg/m ³	899
Viscosidad	mm ² /s	36,4
Humedad	%	0,28
Índice de acidez	mg KOH/g de aceite	0.4

Una vez realizado el proceso de transformación del aceite, se obtuvo el glicerol cuyas propiedades se describen en la tabla 2.

Tabla2. Resultados de glicerol obtenido posterior a la transesterificación.

Propiedades	Tiempos(min)	Cantidad	Unidad
Humedad	30	2,4	%
	45	2,1	
	60	2,8	
Cloruros	30	0,033	% Cl
	45	0,025	
	60	0,022	
Cenizas	30	2,1	%
	45	2,4	
	60	1,2	
pH	30	4,8	-
	45	5,0	
	60	5,2	

El color del aceite comestible usado depende del número de frituras que haya sufrido, así como el porcentaje de humedad que puede ser alta debido a la ubicación geográfica donde estamos situados; por ende, es importante tener en cuenta que a la materia prima se le debe hacer un pretratamiento minucioso para acondicionar los aceites, de tal manera que se pueda obtener biodiesel y un 10% de glicerina cruda [13]. Respecto a la caracterización, se obtuvo un índice de yodo de 69 g de yodo/g de aceite (Tabla 1), este es un indicativo de la tendencia que tiene una muestra a oxidarse; este valor, refleja una difícil oxidación. Según Muangrat [14], esta característica del aceite está asociada con el grado de insaturación de este, en una comparación realizada según lo reportado por autores como Galcés [3] para el aceite de oliva (56,15 g I₂/100 g) y por otros autores para el aceite de pescado (93,92 g I₂/100 g). El aceite comestible usado, demuestra un valor adecuado, demostrando así que este aceite tiene un menor grado de insaturación en comparación a los otros dos aceites propuestos [9].

El índice de acidez fue de 0.4% mg KOH/g de grasa, siendo óptimo para la transesterificación. Un índice de acidez elevado tiene consecuencias problemáticas ya que en presencia del catalizador el proceso tiende a saponificarse. Ramírez y Vejerano [12], mencionan que los aceites crudos y los usados previamente en frituras, generalmente tienen un contenido de ácidos grasos libres superiores al 2%. Luego de haber analizado nuestra muestra se pudo determinar que podíamos transesterificar sin una previa esterificación puesto que según la literatura con una acidez interior a 2mg KOH/ g de grasa puedo proceder de manera directa. Por otra parte, la humedad, fue de 0,28%, siendo este un buen indicador para la transesterificación. Los triglicéridos en contacto con humedad (agua) se descomponen en diglicéridos y monoglicéridos, liberando con esto una o dos cadenas de ácidos grasos. Como producto de la hidrólisis de los triglicéridos estos pierden ramificaciones las mismas que son ácidos grasos los cuales van a aumentar el número de AGL lo que impidiera transesterificar sin la realización previa a una esterificación [3].

La viscosidad cinemática reportada fue de 36,4 mm²/s, siendo un valor adecuado con respecto a la densidad presentada en la muestra que fue de 899 kg/m³; esta no significó un problema para la transesterificación de la muestra o propiedades del glicerol obtenido. Se utilizó una temperatura de 60°C. Estos autores manifestaron Ramírez y Vejarano [14], que esta temperatura fue la que utilizaron en el proceso de transesterificación para aceite crudo, refinado de soja y de palma, en su trabajo y consideraron que fue adecuado, pues obtuvieron como rendimiento de 87,8% del aceite crudo y con un rendimiento de 98,17% en el refinado; cabe recalcar la importancia que tiene la temperatura en el proceso de transesterificación para la obtención del glicerol como subproducto.

A. Análisis de resultados al glicerol obtenido

Respecto al glicerol obtenido posterior a la separación de fases, este tuvo que ser purificado ya que aún contenía trazas de agua y otras sustancias producto de la reacción de transesterificación. En la figura 2, se puede observar los cambios de un glicerol crudo a un glicerol refinado. Lafuente [15], afirma que el glicerol obtenido a partir de biodiesel se puede clasificar en función de su pureza, como glicerol crudo (15-80% de pureza) y glicerol puro o refinado (99,1%). El glicerol crudo contiene una gran cantidad de contaminantes, como lo son: metanol, agua, sales o ácidos grasos libres. La presencia de dichos contaminantes, como a su vez su distinta proporción, se debe al proceso químico utilizado en la obtención del biodiesel. Por otro lado, los procesos de purificación son costosos lo cual deriva en una compleja viabilidad para pequeñas y medianas industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica.

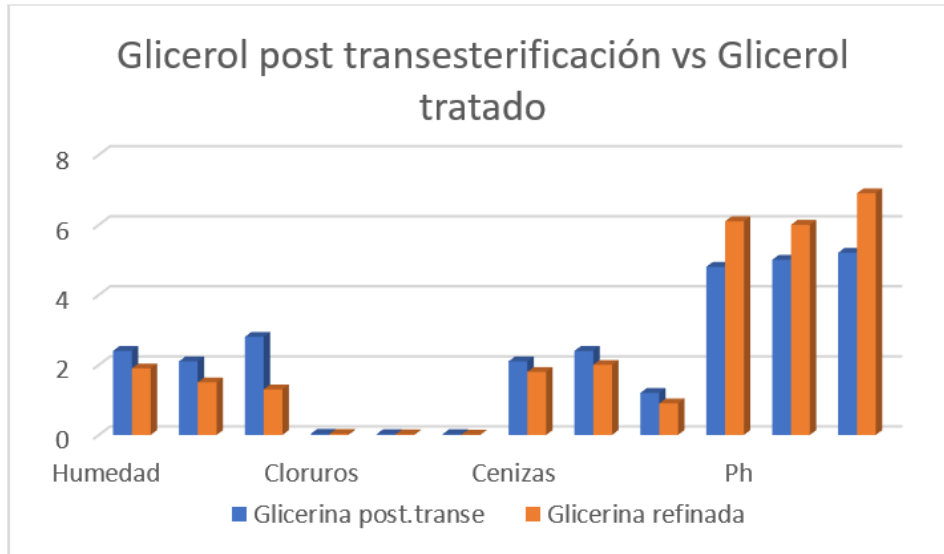


Figura 2. Glicerina post transesterificación vs glicerina tratada en los diferentes tiempos

Autores como Cardeño et.al [16] obtuvieron porcentajes de humedad entre 2,6 y 2,8%, siendo este un valor mucho más elevado que el reportado en este trabajo; dichos autores señalan cuando existe un contenido elevado de humedad el proceso necesita una purificación minuciosa capaz de retirar el contenido de agua de las muestras, lo cual lo podemos conseguir mediante el uso de sustancias deshidratantes. Es interesante que debemos tener mucho cuidado en la manipulación de las muestras ya que la glicerina tiene la propiedad de ser higroscópica. Asimismo, se reportó un contenido de cenizas relativamente bajo, considerando como el mejor el tercer ensayo del glicerol refinado, con un valor de 0,4%; y un pH de 6,9. Respecto al pH, autores como Torres, et. al [13] reportaron que el rango ideal para la glicerina esta entre 6,5 y 7,5.

Según la norma NTC 1274, el contenido de cenizas tiene que ser máximo 1,0%; por lo cual nuestros resultados se encuentran dentro de los parámetros con un valor de 0,9%; no obstante, se debe tener en cuenta este parámetro ya que, aunque esté dentro de la norma, se encuentra muy cerca de lo permitido, y un glicerol de calidad no debe tener un alto índice de impurezas reflejado como porcentaje de cenizas [16]. Los cloruros presentes en los análisis posteriores al tratamiento del glicerol bajaron significativamente. Autores como Betancourt et.al [2], manifiestan que en la glicerina existen ciertas cantidades de sales como cloruros y esto se debe a los catalizadores usados en el proceso de la transesterificación además indica que estas sales pueden ser perjudiciales en ciertos casos de acuerdo con el uso que se le dé, así por ejemplo en la agricultura pueden producir afectaciones debido a la presencia de estas sales que pueden ser tóxicas para las plantas.

CONCLUSIONES

El proceso de transesterificación para la obtención de glicerol como subproducto fue el adecuado, teniendo como el mejor tiempo 60 min a 60 °C, esto debido a que los parámetros de humedad, cloruros y cenizas fueron los mejores bajo estas variables de operación. En bibliografía referente al tema se ha reportado que después de los 60 min la reacción tiende a ser lineal y ya no hay formación de productos o subproductos como en este caso era el glicerol. El glicerol obtenido se encontró dentro de los parámetros de calidad establecidos, además de probarse su eficaz aplicación en la elaboración de hidrogel. Esta investigación demuestra una de las alternativas en auge para dar un segundo uso a desechos como el aceite comestible usado, en donde las industrias pueden tener una mayor responsabilidad ambiental y a su vez crear productos a partir de subproductos como el glicerol que tiene múltiples aplicaciones comerciales.

Los alcances de los grados más puros de glicerol no pueden lograrse con tratamientos a escala de laboratorio; por tanto, si se desea lograr estándares de calidad, se puede asegurar al combinar procesos como la destilación a presión reducida, intercambio iónico, entre otros; debido a que dependiendo del uso que se le dé al glicerol en las distintas áreas industriales ésta requerirá de mejores condiciones para su obtención.

REFERENCIAS

- [1] N. Sánchez, «Obtención de biodiésel mediante transesterificación de aceite de ricino y grasas animales: Aprovechamiento energético de la glicerina como subproducto del proceso,» Universidad de Extremadura, España, 2015.
- [2] C. Betancourt-Aguilar, R. Mello-Prado, L. Castellanos-González y C. Silva-Campos, «Características de la glicerina generada en la producción de biodiesel, aplicaciones generales y su uso en el suelo,» Cultivos tropicales, vol. 37, n° 3, pp. 7-14, 2016.
- [3] C. Gilces González, «Hipoclorito de sodio (NaClO) en la alcalinidad de jabón de tocador artesanal a base de aceite residual Post-Fritura,» ESPAM, Manabí, Ecuador, 2018.
- [4] P. Albarracín, F. Garay, V. Di Bacco, M. González, M. Tereschuk, S. Chauvet y H. Genta, «Estudios de caracterización de aceites usados en frituras para ser utilizados en la obtención de jabón,» Investigación y desarrollo, vol. 32, pp. 1-7, 2010.
- [5] A. Arias Tamayo, «Obtención de biodiesel a partir de aceites comestibles vegetales usados (ACVUS), como una alternativa para el reciclaje de material de desecho altamente contaminante para el medioambiente,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, 2011.
- [6] G. Arriola Gómez y M. Monjaras Blanco, «Comprobación de pureza de los aceites comestibles de diferentes marcas comerciales en el área metropolitana,» Universidad de El Salvador, El Salvador, 2003.
- [7] M. Escobar, R. Fortínez, L. García y O. Osegueda, «Optimización del proceso de transesterificación alcalina de materias primas recicladas a biodiesel,» 2015. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/11674/6066>. [Último acceso: 2023].
- [8] A. Beléndez, G. Bernabeu, J. Vera Guarinos, C. Pastor Antón y A. Martín García, «Prácticas de Física: Viscosidad. Viscosímetro de Ostwald. Fundamentos Físicos,» 1989. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/10045/13687>. [Último acceso: 2023].
- [9] R. Hidalgo, L. Eduardo, C. Valdiviezo Rogel y S. Bonilla Bermeo, «Caracterización del aceite de la semilla de Sacha Inchi (*plukenetia volubilis*) del cantón San Vicente, Manabí, Ecuador, obtenida mediante procesos no térmicos de extrusión,» La Granja, revista de ciencias de la vida, vol. 30, n° 2, pp. 77-87, 2019.

- [10] S. Estrada Orozco, «Determinación de la Actividad Antibacteriana in vitro de los Extractos de Romero (*Rosmarinus officinalis* y Tomillo) y Tomillo (*Thymus vulgaris*)» ESPOCH, Ecuador, 2011.
- [11] A. García Arellano, «Obtención de metabolitos de alto valor mediante un proceso tipo biorrefinería a partir de *S. cerevisiae* (Mayen Ex EC Hansen) generada como subproducto del proceso cervecero,» Universidad autónoma de Nuevo León, Nuevo León, 2014.
- [12] I. Ramírez y T. Vejarano, «Obtención De Biodiesel A Partir De Aceite Doméstico Residual,» *Revia*, vol. 6, nº 1, 2018.
- [13] L. Torres-Rivero, B. Ben-Youssef y M. Pérez-Gasca, «Características de la glicerina obtenida del proceso de la reacción del metóxido de sodio en la producción del Biodiesel Characteristics of glycerin obtained from the reaction process of sodium methoxide in the production of Biodiesel,» *Rev. de Energía química y física*, vol. 6, nº 18, pp. 18-28, 2019.
- [14] R. Mott, *Mecánica de Fluidos Aplicada.*, México: Pearson Educación., 1996.
- [15] G. Lafuente Aranda, «Glicerol: síntesis y aplicaciones.» 2017. [En línea]. Available: http://espacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:master-Ciencias-CyTQ_Glafuente/Lafuente_Aranda_Gustavo_TFM.pdf. [Último acceso: 2023].
- [16] F. Cardeño, L. Gallego y L. Rios, «Refinación de la fase glicerina del biodiesel de aceite de palma empleando ácidos minerales,» *Información tecnológica*, vol. 22, nº 6, pp. 15-24, 2011.