

Obtención y caracterización de biodiesel por transesterificación a partir de aceite de girasol

Agila Tufiño Jenniffer Alexandra
<https://orcid.org/0009-0003-0352-9321>
jagila9092@utm.edu.ec
Universidad Técnica de Manabí
Portoviejo, Ecuador

Moya Reina Ivette Andrea
<https://orcid.org/0009-0002-0318-6675>
imoya7888@utm.edu.ec
Universidad Técnica de Manabí
Portoviejo, Ecuador

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

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

Recibido (15/02/2024), Aceptado (13/04/2024)

Resumen: El presente trabajo, plantea el proceso para la obtención de biodiesel a partir de la transesterificación del aceite de girasol comercial. Se realizó una caracterización al aceite considerando el índice de acidez, el índice de peróxido, la humedad y la densidad, utilizando el método de ensayo establecido por la Norma Técnica Ecuatoriana. Para la obtención del biodiesel se realizó la transesterificación del aceite, proceso en el cual reaccionó un triglicérido con un alcohol para la formación de ésteres y glicerol. El biodiesel obtenido se caracterizó según las normas ASTM y EN. Se analizaron los parámetros como la densidad, la viscosidad cinemática, la humedad y el índice de acidez a 30 min, 45 min y 60 min. Se concluye que el aceite de girasol es una buena alternativa para la obtención de biodiesel, encontrándose dentro de las normas internacionales establecidas.

Palabras clave: biodiesel, aceite de girasol, transesterificación, medio ambiente.

Obtaining and characterization of biodiesel by transesterification from sunflower oil

Abstract.- The present work proposes the process for obtaining biodiesel from the transesterification of commercial sunflower oil. Characterization of the oil was carried out considering the acidity index, the peroxide index, the humidity, and the density, using the test method established by the Ecuadorian Technical Standard. To obtain biodiesel, the oil was transesterified, a process in which a triglyceride reacted with an alcohol to form esters and glycerol. The biodiesel obtained was characterized according to ASTM and EN standards. Parameters such as density, kinematic viscosity, humidity, and acid number were analyzed at 30 min, 45 min, and 60 min. It is concluded that sunflower oil is a good alternative for obtaining biodiesel, being within the established international standards.

Keywords: biodiesel, sunflower oil, transesterification, environment.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el mundo presenta una gran problemática a causa de la contaminación al medio ambiente; gran parte de estos contaminantes provienen de las emisiones de CO₂ y otros gases que son perjudiciales. Todo esto ha ocasionado que se desarrollen lluvias ácidas, smog fotoquímico y aumento del efecto invernadero, lo cual ya es una situación que genera preocupación para las actuales y futuras generaciones. La invención del motor alimentado con aceite vegetal por Sir Rudolf Diesel se remonta al siglo XX. Sin embargo, la exploración completa del biodiesel sólo salió a la luz en la década de 1980 como resultado de un alto interés en las fuentes de energía renovables para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y aliviar el agotamiento de las reservas de combustibles fósiles [1]. El consumo mundial total de energía comercializada se expande un 48% entre 2012 y 2040. La mayor proporción de ese crecimiento en el uso mundial de energía se destina a países fuera de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [2].

Las constantes crisis energéticas, medioambientales y el cambio climático han hecho que científicos busquen alternativas que reduzcan el uso constante del combustible convencional. De manera simplificada el biodiesel, se refiere a ésteres monoalquílicos que se derivan de aceites vegetales o grasas animales y alcoholes de pesos moleculares bajos en presencia de catalizadores, es decir un proceso de transesterificación [3]. Lo atractivo de los biocombustibles es que pueden llegar a sustituir algunos combustibles de origen fósil como el gas butano y el diésel procedente del petróleo. El biogás, el bioetanol y el biodiesel son carburantes que se aprovechan en diversos países como fuentes de energía. Siendo el biodiesel el más opcional ya que ha pasado en su totalidad las pruebas referentes de calidad del aire [4].

El biodiesel se puede utilizar en motores diésel existentes con pocas o ninguna modificación debido a sus similares propiedades físicas. Además de la renovabilidad también han destacado el aumento del interés por esta nueva alternativa debido a que a diferencia del petrodiesel, este es biodegradable y no tóxico y puede disminuir sustancialmente la cantidad de emisiones de escape, particularmente hidrocarburos no quemados, partículas materiales y monóxido de carbono [5]. La presente investigación tiene como objetivo, evaluar la producción de biodiesel a partir del aceite de girasol considerando lo factible y viable que pueda ser su obtención y aplicación, además de aportar conocimientos necesarios para avanzar en el largo proceso de búsqueda de recursos renovables que sean amigables con el medio ambiente obteniendo productos de calidad sin tener que contaminar la atmósfera y agotar sus recursos no renovables.

II. DESARROLLO

El biodiésel es un biocombustible producido a partir de fuentes renovables, generalmente aceites vegetales o grasas animales. Es considerado una alternativa más sostenible en comparación con los combustibles fósiles tradicionales debido a su origen renovable y su menor impacto ambiental. Entre las principales materias primas de este biocombustible se encuentran los aceites vegetales como el aceite de soja, aceite de colza, aceite de palma y otros. Además, están las grasas animales, como sebo o aceites residuales de procesos industriales alimentarios.

El proceso de producción es la transesterificación, que implica la reacción química de los triglicéridos presentes en los aceites o grasas con un alcohol (generalmente metanol o etanol) para formar ésteres metílicos o etílicos (biodiésel) y glicerol. El biodiésel tiene propiedades similares al diésel convencional y se puede utilizar directamente o mezclado con combustibles fósiles en motores diésel sin la necesidad de modificaciones significativas. Además, es biodegradable y generalmente menos tóxico que los combustibles fósiles, lo que contribuye a una menor contaminación ambiental. Su producción a partir de fuentes renovables lo convierte en una opción más sostenible y reduce la dependencia de los combustibles fósiles. Sin embargo, la elección de las materias primas y los métodos de producción puede influir en la sostenibilidad global del biodiésel.

En muchos países, existen normativas y estándares para garantizar la calidad y la seguridad del biodiésel, así como para establecer porcentajes de mezcla con combustibles fósiles en el diésel convencional (B5, B20, etc.). La competencia con la producción de alimentos y las preocupaciones ambientales relacionadas con la producción de ciertos cultivos para biodiésel son desafíos asociados con esta fuente de energía renovable. Sin embargo, es importante resaltar que el biodiésel se ha convertido en una opción importante en la búsqueda de alternativas más sostenibles en el sector de los combustibles, contribuyendo a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la promoción de prácticas más respetuosas con el medio ambiente en el ámbito del transporte.

III. METODOLOGÍA

El presente trabajo se basó en un método respaldado en referencias bibliográficas y experimentación, el cual describe todo el proceso de obtención del biocombustible a partir de la transesterificación del aceite de girasol. Dicha técnica consiste en la transformación química del lípido en donde el aceite o grasa al mezclarse con un alcohol (metanol) por medio de un catalizador (hidróxido de sodio) reaccionan dando paso a la formación de un éster; es decir, el biodiésel y un grupo glicerol (glicerina). En la figura 1 se muestra la reacción química del proceso de transesterificación.

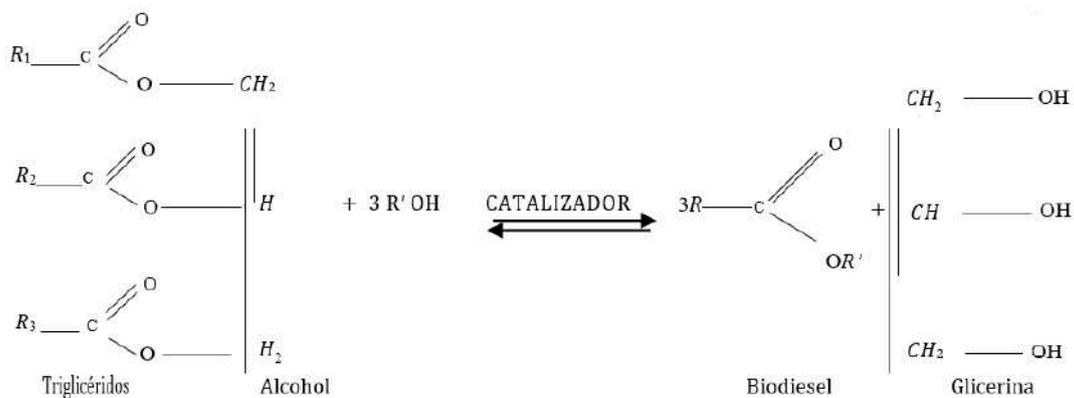


Fig. 1. Reacción de transesterificación donde R es el radical del ácido graso que forma el triglicérido y R' es el radical alquilo correspondiente al alcohol.

Fuente: [6].

A. Caracterización del aceite de girasol y obtención del biodiésel

El aceite girasol fue obtenido del emprendimiento SAFEOIL en la ciudad de Rocafuerte, en Ecuador, para el proceso de investigación se adquirió 1L de aceite de girasol aplicando a este un pre-tratamiento y una caracterización previa a su transesterificación; los análisis fisicoquímicos se llevaron a cabo según lo establece la norma NTE INEN 2421:2012.

a. Pretratamiento

La muestra de aceite se calentó a 35 °C, luego se filtró empleando un cedazo casero. Seguidamente, se realizó un segundo filtrado, para esto se empleó un papel de filtro comercial para café (tiempo de filtrado 10 min). Posteriormente, se calentó a 100 °C con agitación constante durante 10 minutos utilizando una placa calefactora (THERMOSCIENTIFIC), con el objetivo de eliminar posibles trazas de agua presente.

b. Análisis Químicos

Se realizó un análisis químico a la muestra de aceite de girasol para comprobar que los índices y porcentaje de la muestra estuvieran dentro de las normas establecidas; por esta razón, el ensayo se llevó a cabo en 3 réplicas con la finalidad de obtener el menor margen de error.

c. Índice de acidez

Se determina como los miligramos de hidróxido de potasio (KOH) imprescindibles para contrarrestar todos los ácidos grasos libre existentes en un gramo de aceite; además de ser un medidor del grado de hidrólisis de una grasa. El aceite de girasol es de color amarillo pálido y tiene una acidez de aproximadamente 0,9 - 1,1%. Se producen diferentes tipos de este aceite, entre los que se incluyen alto en ácido linoleico, alto en ácido oleico y medio en ácido oleico.

Pesar el aceite en un vaso de precipitado en una balanza (SARTORIUS CP224S), utilizar un tubo de ensayo para medir el etanol, homogenizar ambas muestras, posteriormente agregar el indicador de fenolftaleína, añadir KOH 0,09212N a la bureta y titular hasta lograr un cambio de color (de transparente a fucsia).

Para determinar el índice de acidez se utilizó la ecuación (1):

$$CT * N * mEq = g \quad (1)$$

Donde: CT es el consumo total, N es la normalidad del KOH y el mEq es igual al mini equivalente del KOH.

d. Índice de yodo

Es una medida de las insaturaciones presentes en los ácidos grasos que conforman un triglicérido, también está relacionado con el punto de fusión o dureza y densidad de la materia grasa. Este se define como los gramos de halógeno calculados en yodo que pueden determinarse bajo ciertas condiciones por cada 100 gramos de grasa [7].

Se prepararon las siguientes soluciones: Tetracloruro de carbono (CCl_4), yoduro de potasio (IK), reactivo de Wijs, además del indicador de almidón. Dos matraces erlenmeyer de 250 ml fueron utilizados para la muestra y el blanco respectivamente, al primero se añadió cloroformo además del reactivo de Wijs, que al añadirlo se mezcló de manera homogénea mientras se cubría con aluminio para evitar el contacto con la luz; el segundo matraz, contenía todas las soluciones nombradas menos la muestra; ambos se dejaron en reposo durante 1 hora, transcurrido el tiempo se añadió (IK) y agua destilada; se tituló con tiosulfato de sodio ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$) 0,0937 N hasta que la muestra cambió a un color amarillo pálido. Se añadió el indicador de almidón y se vuelve a titular hasta que la muestra cambió a color transparente (Ecuación (2)).

$$\text{índice de yodo} = \frac{(B-M) \cdot NT \cdot 12,69}{PM} \quad (2)$$

Donde: B es el consumo del blanco, M el consumo de la muestra, NT es normalidad total y PM es el peso de la muestra.

e. Índice de peróxido

Es importante considerar que mientras menor sea el índice de peróxido, mayor es la calidad del aceite o muestra analizada, ya que el proceso de oxidación es negativo; por ello los aceites se vuelven rancios. El índice de peróxido también se puede definir como el número de miliequivalentes de oxígeno por kilogramo de muestra, el cual según la norma NTE INEN 2421:2012 no puede sobrepasar los 10 miliequivalentes de oxígeno por kilogramo de muestra [8].

Para este parámetro químico se utilizó las siguientes soluciones: ácido acético-cloroformo, yoduro de potasio (IK), tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) e indicador de almidón. En el proceso se utilizó dos matraces Erlenmeyer, uno con la mezcla de la muestra y IK, el otro será el blanco sin la muestra, agregarla solución de ácido acético y cloroformo en una proporción de volumen de 3:2 como blanco y agitar continuamente hasta que se disuelva. Se tituló con la solución de tiosulfato de sodio usando como indicador la solución de almidón; de esta manera, se procedió hasta que la mezcla y/o solución cambiara de color amarillo a transparente. Se realizó el cálculo con la ecuación (3):

$$\text{índice de peróxido} = \frac{(B-M) \cdot NT \cdot 1000}{PM} \quad (3)$$

Donde: B es el consumo del blanco, M es el consumo de muestra, NT es la normalidad total y PM es el peso de muestra.

f. Densidad

Para el cálculo de la densidad relativa se utilizó un picnómetro el cual fue introducido en la estufa con el fin de eliminar la humedad, este proceso se llevó a cabo durante 1 minuto aproximadamente a 60 °C, se dejó enfriar y se pesó (w_0), después con un gotero se añadió la muestra hasta la línea de aforo y se registró nuevamente el peso (w_f).

$$\rho = \frac{w_f - w_0}{VM} \quad (4)$$

g. Viscosidad cinemática

La viscosidad, es una propiedad fundamental en la caracterización de biodiesel; para su determinación se aplicó el método de Ostwald bajo la norma ASTM D445, método estándar para determinar la viscosidad cinemática de líquidos transparentes y opacos. Para su determinación, se calentó agua destilada a una temperatura promedio de 40 °C; se empleó el viscosímetro de Ostwald y se llenó la ampolla en el extremo B con un gotero; al final se bombeó el agua destilada hasta llenar la ampolla del extremo A, se llevó el control del tiempo empleado en descender de la muestra.

$$\frac{n_{H_2O}}{n_{fluido}} = \frac{\rho_{H_2O} t_{H_2O}}{\rho_{fluido} t_{fluido}} \quad (5)$$

Donde: t es viscosidad cinemática y ρ es la densidad

h. Porcentaje de humedad

Para el análisis del porcentaje de humedad se utilizó una cápsula de porcelana, la cual se pesó con la muestra; luego se llevó a la estufa (MODELO004-01-018-00002) durante una hora a 60 °C, para determinar el porcentaje de agua que se eliminó durante este tiempo y se pesó por segunda ocasión. Para esto se empleó la ecuación (6) [9].

$$\% \text{ humedad} = \frac{A_1 - A_2}{A_1} \cdot 100 \quad (6)$$

Donde: A_1 es la muestra inicial (masa) y A_2 es muestra final(masa)

Porcentaje de acidez

También llamado grado de acidez, se denomina como el porcentaje de ácidos libres que existen en el aceite, los cuales en aceites vegetales se expresan como ácidos oleicos ($C_{18}H_{34}O_2$). Con el valor obtenido en el consumototal de la titulación, se aplica la fórmula de % de acidez con la ecuación(7)

$$\% \text{ de acidez} = \frac{CT \cdot N \cdot mEq}{PM} \cdot 100$$

Donde: CT es el consumo total, N es la normalidad del KOH, mEq es el mini equivalente del ácido graso de referencia (oleico) y PM es el peso de la muestra.

i. Transesterificación

Debido a la estequiometría de la reacción alcohol: aceite, se utilizó una reacción molar 6:1, teniendo como catalizador el NaOH al 1N, una temperatura a 60 °C y la agitación a 600 rpm, con intervalos de tiempo (min): 30, 45, 60.

Para la separación del metil éster obtenido y la glicerina, se utilizó el método de decantación. El lavado del biodiesel se efectuó con agua destilada a 40 °C, utilizando un embudo de decantación. El filtrado fue realizado en un periodo posterior a 2h. Para obtención del producto final de interés la muestra se llevó a secado a 100 °C durante 1h para descartar posibles restos de materia acuosa [10]. La calidad del biodiesel se analizó de acuerdo a la norma internacional ASTM 6751 y la norma europea EN 14214.

RESULTADOS

En la tabla 1 se muestran los resultados de la caracterización de la muestrainicial del aceite de girasol en comparación con la norma NTE INEN 0026:2012 para aceite girasol.

Tabla 1. Organización y procesos en la implementación de prácticas experimentales.

Parámetros	Resultados	Unidades	NORMA NTE INEN 0026:2012	
			Min.	Máx.
Índice de acidez	0,28	mg KOH/g de aceite	-	0,2
Índice de yodo	118,9	g I ₂ /g de aceite	123	137
Índice de peróxido	5,0	meq O ₂ /kg	-	10
Densidad	912	kg/m ³	910	921
Humedad	0,02	%	-	-
Viscosidad cinemática	33,37	mm ² /s	-	-

El índice de acidez reportado fue de 0,28 g KOH/ g de aceite, considerándose un valor adecuado para su post transesterificación y estando dentro de los parámetros establecidos por la norma NTE INEN 0026:2012 para aceite de girasol crudo [11]. Respecto al índice de yodo, este arrojó un resultado de 118,9 g I₂/g de aceite, encontrándose dentro de la Norma que establece un rango entre 123-137 g I₂/g de aceite, un parámetro de vital importancia al medir la capacidad oxidativa del aceite al pasar el tiempo. Varios autores observaron en sus investigaciones sobre biodiesel a partir de *Jatropha curcas*, menos insaturaciones que el aceite de girasol; sin embargo, también refirieron que el índice de yodo al ser una medida del grado de insaturación de los componentes de una grasa presenta variaciones que pueden ser por el método de extracción del aceite y por las condiciones de almacenamiento del mismo [12]. A su vez el índice de peróxido obtenido fue de 5,0 meq O₂/kg, siendo un valor ideal ante la norma que establece un valor máximo de 10 meq O₂/kg.

La densidad obtenida fue de 912 kg/m³, la norma establece un máximo de 921 unidades, por lo cual, se encuentra dentro de lo exigido y está correlacionado con la viscosidad obtenida de 33,37 mm²/s. En el marco de la interacción entre el metanol y el aceite, se utilizó una proporción de 6 partes de metanol por cada parte de aceite. Al presentarse un exceso de concentración de metanol, este aceleró la transformación de los triglicéridos en ésteres metílicos, generando como resultado que las propiedades de la mezcla en reacción tenderán a semejarse a las características propias del metanol. En otras palabras, se observó una reducción en la viscosidad y densidad de la mezcla [13].

La humedad obtenida fue de 0,02%, que se consideró apropiado para el proceso, siendo un valor casi nulo. Otros autores argumentaron que una alta presencia de humedad en el aceite puede provocarla disminución del rendimiento (Tabla 2), debido a que el agua reacciona con el catalizador formando jabón, afectando al producto que se desea obtener [14].

Tabla 2. Resultados del biodiesel obtenido, comparado con las normas ASTM 6751 y EN 14214.

Propiedad	Unidades	Norma ASTM	Norma EN	Muestras			Validación
				1 ^{era}	2 ^{da}	3 ^{era}	
		6751	14214				Dentro de la norma
Tiempo de reacción	min	-	-	30	45	60	
Densidad a 25 °C	kg/m ³	870 - 890	-	887	880	873	
Viscosidad cinemática	mm ² /s	1,9 - 6,0	3,50 – 5,00	4,81	3,63	3,02	
Humedad	%	Máx. 0,05	Máx. 0,05	0,021	0,020	0,017	
Índice de peróxido	meqO ₂ /kg	-	-	4,2	4,5	5,2	
Índice de acidez	mgKOH/g	Máx. 0,80	Máx. 0,50	0,026	0,020	0,015	
Índice de yodo	g I ₂ / 100g	-	120	118,52	116,94	115,36	

Las densidades reportadas para cada una de las muestras fueron: 887 kg/m³(30 min), 880 kg/m³(45 min), 873 kg/m³(60 min). Las tres muestras se encontraron dentro de las normas ASTM 6751 y EN 14214; sin embargo, la muestra con una mejor densidad fue la tercera con la densidad más baja reportada de 873 kg/m³. Siguiendo con lo establecido por la norma, si la densidad llega a ser muy alta generará dificultades al sistema de inyección en los motores y además de eso temperaturas bajas originan inconvenientes de congelación siempre y cuando la densidad sea mayor [15].

Las viscosidades cinemáticas para cada muestra fueron de 4,81 mm²/s (30 min), 3,63 mm²/s (45 min), 3,02 mm²/s (60 min), estando dentro de las normas que establecen un rango de 1,9-6,0 ASTM 6751 y 3,50-5,00 EN 14214. La viscosidad está relacionada directamente con los triglicéridos sin reaccionar, algunos autores coinciden en que una de las variables que afecta directamente a la viscosidad son las pequeñas partículas en suspensión que el aceite atrapa durante su vida útil y que la solución para este inconveniente estaría en llevar a cabo un filtrado adecuado [3]. En otras investigaciones se ha observado que al utilizar como materia prima el aceite de girasol y etanol 97 para la obtención de biodiesel, este último presenta una alta eficiencia en su aplicación de motores a escala experimental.

En este trabajo, además, se observó que con respecto al índice de peróxido se obtuvo un valor de 4,2 meq O₂/kg (30 min), 4,5 meq O₂/kg (45 min), 5,2 meq O₂/kg (60 min); los resultados indican que las muestras de biodiesel obtenido realizaron una combustión completa, esto a su vez va a disminuir las emisiones de CO además de hidrocarburos no quemados. Respecto al índice de acidez, se obtuvieron valores de 0,026 mgKOH/g (30 min), 0,020 mgKOH/g (45 min) y 0,015 mgKOH/g(60 min). El índice de acidez en el biodiesel está basado en la cantidad de ácidos grasos libres que se encuentran en el mismo, de manera en que los valores hallados indican que el biodiesel obtenido fue tratado correctamente, sobre todo en la etapa de lavado, la cual está dedicada exclusivamente a eliminar los ácidos grasos que pudiesen estar presentes en el producto final. En este sentido, otras investigaciones plantearon que la determinación del índice de acidez es importante para el proceso de transesterificación, ya que el contenido elevado de ácidos grasos libres deriva en un menor rendimiento en la producción de biodiesel, además de ocasionar la formación de jabones [16]. El contenido de agua es otro factor importante para la calidad del biodiesel, se obtuvieron valores de 0,025% (30 min), 0,020% (45 min) y 0,017% (60 min) respectivamente, los mismos que se hallaron dentro de lo establecido por las normas ASTM 6751 y EN 14214. Es de suma importancia el control de este parámetro, ya que puede favorecer el crecimiento de células microbianas, causar corrosión, formar emulsiones y estimular la hidrólisis de ésteres [17]. Respecto a la velocidad de reacción, esta varía significativamente con la temperatura y también con el contenido de catalizador; es decir que, el rendimiento del biodiesel está dado no solo por el origen de la materia prima, sino también por las variables de operación que intervienen en el proceso [18].

Por su parte, algunos autores, describen que una de las razones por las cuales se utiliza metanol en lugar de alcohol en este tipo de procesos es debido a la viscosidad; ya que, la viscosidad de los ésteres etílicos suele ser mayor que de los ésteres metílicos. En esta investigación se mantuvo una temperatura de 60 °C debido a que el metanol tiene su punto de ebullición en 64,7 °C [19]. Esta decisión se tomó con el objetivo de asegurar condiciones óptimas para la reacción, aprovechando la temperatura cercana al punto de ebullición del metanol, facilitando así su participación efectiva en el proceso de conversión de triglicéridos a ésteres metílicos.

CONCLUSIONES

El biodiesel obtenido por medio de transesterificación alcalina KOH, con aceite de girasol se encontró dentro de las normas internacionales ASTM 6751 y EN 14214, observando que las variables de operación de 60min y 60°C son las adecuadas, tanto teórica como experimentalmente. Además del KOH, se han reportado otros catalizadores que también presentan altos porcentajes de conversión como el Ca(OH)₂ y el NaOH. El subproducto obtenido (glicerol) posterior al proceso de transesterificación será utilizado para futuras investigaciones del área cosmética.

Cabe mencionar que, además del KOH, se han informado sobre otros catalizadores, como el Ca(OH)₂ y el NaOH, que también exhiben altos porcentajes de conversión en el proceso de transesterificación. Este hallazgo sugiere la posibilidad de explorar alternativas catalíticas, brindando una perspectiva enriquecedora para futuras investigaciones en el campo de la producción de biodiesel.

Adicionalmente, el subproducto resultante de la transesterificación, el glicerol, se destinará a investigaciones futuras en el ámbito cosmético. Esta aplicación adicional del glicerol como recurso en la industria cosmética no solo agrega valor a los residuos del proceso, sino que también abre nuevas oportunidades para explorar el uso sostenible de los subproductos generados en la producción de biodiesel.

Además de los índices de peróxido y acidez, otros parámetros de calidad del biodiesel también revelan la excelencia del proceso de transesterificación empleado. La estabilidad oxidativa, evaluada mediante la prueba de envejecimiento acelerado, muestra una resistencia a la oxidación del biodiesel, lo que sugiere una mayor durabilidad y vida útil en condiciones reales de almacenamiento y uso. Estos resultados respaldan la aplicación práctica del biodiesel obtenido, asegurando un rendimiento constante y reduciendo los riesgos asociados con la formación de productos de degradación durante su almacenamiento.

Adicionalmente, la caracterización de las propiedades físicas del biodiesel, como la viscosidad y la densidad, refuerza la idoneidad del producto para su integración en sistemas de combustión convencionales. La viscosidad dentro de los límites establecidos por las normativas confirma que el biodiesel mantendrá un flujo adecuado en los sistemas de inyección de motores diesel, mientras que la densidad en rangos aceptables asegura una adecuada compatibilidad con el combustible convencional. Estos atributos contribuyen no solo a la conformidad con estándares internacionales, sino también a la viabilidad práctica del biodiesel obtenido en el contexto de aplicaciones automotrices y de generación de energía.

Los resultados obtenidos en los índices de peróxido y acidez respaldan la eficacia del proceso y la calidad del biodiesel, subrayando su idoneidad para la combustión y su conformidad con los estándares de producción sostenible. Es recomendable realizar estudios futuros para la obtención de biodiesel con aceite de girasol usado, y biodiesel aplicado a motores, de manera que sea probado como una alternativa viable y sustentable para reutilizar desechos que en ocasiones no tienen un buen manejo respecto a su eliminación, reduciendo con ello las emisiones de monóxido de carbono que afectan la capa de ozono.

REFERENCIAS

- [1] S. Grebemariam y J. M. Marchetti, «Biodiesel production technologies,» 2017.
- [2] S. Gebremariam y J. M. Marchetti, «Economics of biodiesel production. Energy Conversion and Management,» n° 168, pp. 74-84, 2018.
- [3] M. M. Villadiego, Y. O. Roa y L. T. Benitez, «Esterificación y transesterificación de aceites residuales para obtener biodiesel,» Luna Azul, n° 40, p. 2534, 2015.
- [4] C. Cabello, S. Rincón y A. Zepeda, «Catalizadores heterogéneos utilizados para la obtención de biodiesel,» Afinidad, vol. 577, n° 74, 2017.
- [5] M. Aghbashlo y A. Demirbas, «Biodiesel: hopes and dreads. Biofuel,» Research Journal, vol. 2, n° 3, pp. 379-379, 2016.
- [6] S. G. Pérez-Bravo, L. Aguilera-Vázquez, M. D. R. Castañeda-Chávez y N. V. Gallardo-Rivas, «Condiciones del proceso de transesterificación en la producción de biodiesel y sus distintos mecanismos de reacción,» Revista especializada en ciencias químico-biológicas, p. 25, 2022.
- [7] J. S. Guillén-Sánchez, «Obtención y Caracterización Físicoquímica del aceite de palta Hass (Persea americana) extraído por método en frío (Prensado) y caliente (Soxhlet),» 2016.
- [8] INEN, «NORMA 0277. Grasas y aceites. Determinación de peróxidos,» 2018.
- [9] V. S. G. Villa, C. D. F. Mera, R. C. Cedeño y G. O. G. Vincés, «Transesterificación de aceite de higuera (Ricinus Communis) de la provincia de Manabí-Ecuador,» MQInvestigar, vol. 1, n° 7, pp. 2561-2581, 2023.
- [10] A. García-Bowen, J. Alarcón-Cedeño, S. García-Muentes, R. Cevallos-Cedeño, G. García-Vincés y F. Sánchez-Plaza, «Producción de biodiesel a partir de grasa animal generada en el proceso de cocción de pollo asado,» Revista científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación, vol. 10, n° 5, pp. 64-80, 2022.
- [11] S. García-Muentes, F. Lafargue-Pérez, B. Labrada-Vázquez, M. Díaz-Velázquez y A. E. Sánchez Del Campo-Lafita, «Propiedades fisicoquímicas del aceite y biodiesel producidos de la Jatropha Curcas L. en la provincia de Manabí,» Revista Cubana de Química, vol. 1, n° 30, pp. 142-158, 2018.
- [12] T. Guerrero y L. Moncada, «Obtención de biodiesel a partir de aceite de semillas de Jatropha Curcas, por vía enzimática,» Revia, vol. 1 y 2, n° 4, 2018.
- [13] R. Gil Martín, Producción de biodiésel a partir de aceite de girasol en una planta piloto de reacción por cavitación, Valladolid: Universidad de Valladolid, 2017.
- [14] M. J. Jadán, M. C. Morejón, S. García, G. Burgos y G. García, «Obtención de biodiesel a partir de transesterificación de aceite vegetal residual,» Infoanalítica, vol. 1, n° 11, pp. 31-51, 2023.
- [15] F. H. Lescano-Pizarro, «Transesterificación de los ácidos grasos de la grasa de matadero municipal de Tingo María para la obtención de biodiesel,» 2019.
- [16] H. Arteaga, R. Siche, S. Pagador y Cáceres, «Efecto de la temperatura y tiempo de transesterificación en el rendimiento y poder calórico de biodiesel a partir de grasa refinada de pollo,» Scientia Agropecuaria, vol. 1, n° 1, pp. 37-45, 2010.
- [17] L. López-Zambrano, G. Zambrano-Moreira, S. García-Muentes, G. Burgos-Briones y G. García-Vincés, «Epoxidación de biodiesel obtenido a partir del aceite de la semilla Jatropha Curcas L. de la provincia de Manabí-Ecuador,» Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación, vol. 10, n° 5, pp. 47-63, 2022.
- [18] J. M. B. Sánchez, «Efecto del hexano y la concentración de metanol sobre la transesterificación de aceite crudo de palma utilizando Na₂CO₃ como catalizador,» CITECSA, vol. 13, n° 8, pp. 15-23, 2017.
- [19] H. H. Riojas-González, L. J. Bortoni-Anzures, J. J. Martínez-Torres y H. A. Ruíz, «Avances y estrategias para mejorar el desempeño del biodiésel en motor diésel,» Ingenius: Revista de Ciencia y Tecnología, vol. 30, pp. 90-105, 2023.