

OBTENCIÓN DE BODIESEL A PARTIR DE LA TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITE VEGETAL RESIDUAL

OBTAINING BODIESEL FROM THE TRANSESTERIFICATION OF RESIDUAL VEGETABLE OIL

María Jadán S.^{1*}, María Morejón F.¹, Segundo García M.¹,
Gabriel Burgos B.², & Gonzalo García V.¹

Recibido: 4 de junio 2022 / Aceptado: 11 de enero 2023

DOI: 10.26807/ia.v11i1.242

Palabras clave: aceite vegetal residual, biodiesel, remediación,
transesterificación

Keywords: Biodiesel, remediation, residual vegetable oil, transesterification

RESUMEN

El presente trabajo muestra los resultados de la obtención de un biodiesel B100 a partir del aceite vegetal residual de palma (obtenido) por medio de la transesterificación empleando alcohol metílico con relación molar metanol-aceite

1 Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Carrera de Ingeniería Química, Portoviejo, Ecuador (*correspondencia: mjadán8800@utm.edu.ec; mmorejón0212@utm.edu.ec; segundo.garcía@utm.edu.ec; gonzalo.garcía@utm.edu.ec)

2 Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Departamento de Procesos Químicos, (gabriel.burgos@utm.edu.ec).

de 6:1 y como catalizador al hidróxido de sodio 1 % en peso, a diferentes tiempos de reacción y temperaturas. Se realizó una caracterización fisicoquímica a cada muestra de biodiesel obtenido con el fin de determinar su calidad, así como también al aceite empleado como materia prima, estos resultados se compararon con las normas ASTM D 6 751, EN 14 214 y la NTE INEN 1640. Por medio de la caracterización fisicoquímica se determinó que la muestra que mejor resultados presenta es la 3B con un tiempo de reacción de 50 minutos a una temperatura de 60 °C. La densidad a 15 °C fue de 898 kg/m³, la viscosidad cinemática a 40 °C de 2,496 mm²/s, el índice de acidez de 0,561 mg KOH/g, el contenido de humedad de 0,03 %. El índice de yodo se realizó en dos muestras de 30 y 60 minutos, obteniendo un valor favorable a una temperatura de 60 °C. El rendimiento del biodiesel fue de 63,01 %. Esto permite concluir que se obtuvo biodiesel B100 con resultados óptimos en relación a la naturaleza del aceite empleado como materia prima.

ABSTRACT

This work shows the results of obtaining a B100 biodiesel from residual vegetable palm oil (obtained) by means of transesterification using methyl alcohol with a methanol-oil molar ratio of 6:1 and sodium hydroxide 1% by weight as catalyst, at different reaction times and temperatures. A physical-chemical characterization was carried out on each biodiesel sample obtained to determine its quality, as well as on the oil used as raw material; these results were compared with ASTM D 6 751, EN 14 214 and NTE INEN 1640 standards. By means of the physical-chemical characterization, it was determined that the sample with the best results is 3B with a reaction time of 50 minutes at a temperature of 60 °C. The density at 15 °C was 898 kg/m³, the kinematic viscosity at 40 °C was 2.496 mm²/s, the acid number was 0.561 mg KOH/g, the moisture content was 0.03 %. The iodine index was carried out in two samples of 30 and 60 minutes, obtaining a favorable value at a temperature of 60 °C. The biodiesel yield was 63.01 %. This allows us to conclude that B100 biodiesel was obtained with optimum results in relation to the nature of the oil used as raw material.

INTRODUCCIÓN

En la industria alimentaria actualmente se generan grandes volúmenes de aceite vegetal residual debido a la gran demanda que han provocado los productos fritos, constituyendo un problema desde el punto de vista medioambiental. Desde hace años se sabe que el aceite no puede ser reutilizado en la elaboración de alimentos, por este motivo el aceite empleado para frituras es desechado a los suelos, ríos, mares, entre otros, lo que provoca afectaciones al ecosistema. Según Gonzáles (2015), un litro de aceite comestible usado puede llegar a contaminar mil litros de agua. En Ecuador, se ha estimado que 54 % de los ciudadanos deposita el aceite en la basura, un 24 % lo bota a las quebradas o desagües, el 21 % lo utiliza como alimento para animales y el 1 % entrega a un gestor o lo deposita en un contenedor especial (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2016), lo que deja en evidencia la problemática del poco tratamiento de estos residuos. Esta situación ha conllevado a que se trabaje en la búsqueda de alternativas para el uso de estos aceites. A nivel mundial, una solución a este problema es emplear

este aceite para la obtención de biocombustibles.

En Latinoamérica se ha aumentado el interés por el uso y la generación de estos tipos de combustibles, generando fuentes de empleo y energía, de materias renovables, como es el caso por ejemplo de un investigador chileno; quien, por medio del aceite de cocina usado, ha logrado que funcione un automóvil de motor diésel. Los aceites procedentes de plantas generalmente contienen ácidos grasos, fosfolípidos, esteroides y otras impurezas. Para ello es recomendable no utilizarlos directamente como combustibles y así poder superar inconvenientes con el aceite, que en ocasiones debe sufrir una modificación química (Dávila et al., 2017).

Los combustibles fósiles han jugado un papel fundamental a lo largo de la historia supliendo las necesidades energéticas básicas del hombre. La demanda mundial de estos recursos no renovables se ha incrementado significativamente generando una fuerte dependencia y excesivo consumo de los mismos, causando daños

considerables al medio ambiente (Guayara et al., 2017). En el Ecuador específicamente el uso de combustibles fósiles (petróleo) es la alternativa más empleada para la generación de energía correspondiendo un 89 % de la oferta de fuentes energéticas en el país (Llanes et al., 2017), donde queda en evidencia la falta de alternativas que reduzcan la dependencia hacia el consumo del petróleo. El biodiesel ha sido identificado como una de las opciones que puede reemplazar a estos combustibles. American Society for Testing and Materials (ASTM) define al “biodiesel” como un éster al-

quílico de ácidos grasos de cadena larga, obtenido por transesterificación de recursos renovables tales como aceites vegetales o grasas animales. En la reacción de transesterificación, una molécula de triglicérido reacciona con tres moléculas de alcohol para dar tres moléculas de monoésteres (biodiesel) y una de glicerol, como se ilustra en la Figura 1. El proceso de transesterificación depende de varios parámetros, tales como, materia prima, catalizador, alcohol, tiempo y temperatura de reacción, presión y velocidad de reacción (Saavedra et al., 2018).

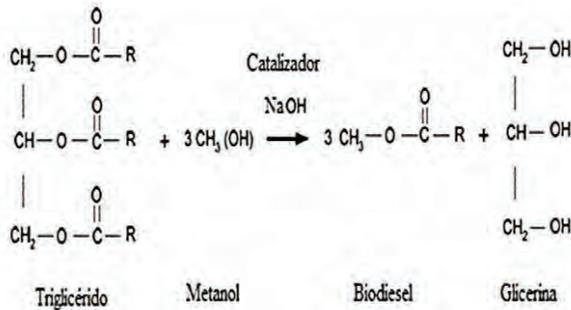


Figura 1. Reacción de transesterificación
(García et al., 2018)

La utilización de este biocombustible resulta ventajosa desde el punto de vista energético, y mucho más reco-

mendable desde el punto de vista medioambiental. Las ventajas más evidentes del biodiesel es que se trata de

una sustancia biodegradable, no explosiva, no inflamable, renovable, no tóxica, cuya combustión genera bajas emisiones de gases nocivos al momento de su combustión, en particular el dióxido de carbono (CO_2), que es el principal causante del efecto invernadero (Gutiérrez, 2020). Según las proyecciones de emisiones de dióxido de carbono (CO_2), para el año 2025 estas aumentarán entre 415 y 421 ppm. Por esta razón es necesario buscar alternativas de combustibles, y es ahí donde aparece el biodiesel, ya que genera menores emisiones a la atmósfera y es renovable, comparado con los combustibles de origen petroquímico (López et al., 2015). Además, en comparación con el diésel obtenido a partir de combustibles fósiles, el biodiesel posee mayor número de cetano, punto de inflamabilidad y mejores características lubricantes sin variantes en el calor de combustión (Llanes et al., 2017). Por lo mencio-

nado anteriormente el presente trabajo tiene como objetivo obtener biodiesel (B100) a partir de la transesterificación de aceite vegetal de palma residual, para así mostrar nuevas alternativas para el tratamiento de estos desechos y contribuir a la remediación ambiental. Los resultados experimentales obtenidos en esta investigación serán comparados con los descritos en la norma ASTM D-6751, esta detalla las especificaciones que debe cumplir el biodiesel B100 según la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM), así como también en la norma EN 14214, establecida por el Comité Europeo de Normalización donde se describen las especificaciones y los métodos de prueba aplicados para el biodiesel y en la norma NTE INEN 1640 que detalla los requisitos de las gasas y aceites comestibles a base de aceite de palma según el Instituto Ecuatoriano de Normalización.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó con base en una metodología con un enfoque investigativo mixto, que nos permite implicar un conjunto de procesos de recolección, análisis y vin-

culación de datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio o una serie de investigaciones para responder a un planteamiento del problema (Sánchez et al., 2020). Así como tam-

bién por la naturaleza del presente trabajo no fue factible centrarse en una hipótesis como tal, sino en el planteamiento de objetivos en función de las problemáticas descritas anteriormente, siendo posible que este tipo de enfoque permita revisar los objetivos durante el desarrollo de las indagaciones (Ortega, 2018) y a su vez es un enfoque ideal para comparar y corroborar los resultados obtenidos con otros métodos e investigaciones.

Materia prima

En la presente investigación se llevó a cabo la obtención de biodiesel a partir de aceite residual vegetal de tipo restaurante. Dicha materia prima fue obtenida en un local de comida rápida de la parroquia Colón del cantón Portoviejo. El aceite de cocina usado se genera a partir de la fritura de alimentos, a altas temperaturas, su composición cambia junto con las propiedades organolépticas que afectan la calidad de los alimentos y del aceite. Hasta ahora, el proceso catalizado por álcali es una técnica viable para convertir el aceite usado en biodiesel como una alternativa para los problemas actuales de contaminación ambiental (Tovar, 2021). Así

mismo se deben considerar desventajas y riesgos al momento de emplear este tipo de aceite como materia prima, los cuales son; su alto contenido de agua (provoca hidrólisis), ácidos grasos libres (provoca saponificación) y ciertas impurezas sólidas. Esto aminora el rendimiento del proceso de transesterificación y hace indispensable un pretratamiento del aceite antes de comenzar el proceso (Gutiérrez, 2020).

Parte experimental

Se empleó un proceso químico de modificación, mediante una reacción de transesterificación, el cual se resume en la Figura 2. Para llevar a cabo dicho proceso se recolectaron muestras de aceite reutilizado y se sometieron a un tratamiento previo de limpieza. Este procedimiento consistió en filtrar el aceite usando una malla de 6 μm de poro, con el fin de separar los residuos de alimentos presentes.

Para el proceso de transesterificación se utilizó metanol, debido a su bajo costo y a sus ventajas físicas y químicas; es polar siendo un alcohol de cadena corta, además, reacciona

damente con los triacilglicéridos y se disuelve fácilmente en álcalis (Castellar et al., 2014), en el caso del catalizador se empleó el hidróxido de sodio ya que este es uno de los reactivos que más se utilizan para la obtención de biodiesel a partir de aceites usados. Este método de catálisis consiste en disolver el catalizador básico en metanol para formar un metóxido. Las cantidades para las diluciones se determinaron por relaciones estequiométricas, siendo favorable para la reacción emplear una relación molar alcohol-aceite de 6:1, ya que se ha logrado determinar en diversas investigaciones que esta relación logra que la reacción se desplace hacia la formación de productos (García et al., 2018). Por otro lado, se empleó una relación en peso de hidróxido de sodio-aceite del 1 %. Se prepararon ocho muestras de aceite residual de 100 g cada una, estas fueron divididas en dos grupos; cuatro muestras sometidas a calentamiento hasta 50 °C y las otras cuatro sometidas a calentamiento hasta 60 °C. Se preparó el metóxido empleando 1 g de hidróxido de sodio diluido en 27,53 mL de metanol por muestra. Se implementó un sistema de destilación al momento que em-

pezó la reacción con el fin de recuperar el exceso de alcohol de esta. Cada muestra se sometió a calentamiento en una placa de calefacción de forma individual a las temperaturas correspondientes, luego se agregó el metóxido y se empleó un agitador magnético con una velocidad de 450 rpm, manteniendo la reacción durante diferentes tiempos por muestra, siendo estos 10, 30, 50 y 60 min. Mediante la revisión de diversas investigaciones se pudo observar que los mejores resultados en estas se obtuvieron empleando los mismos parámetros de temperatura y tiempo, por ello se definieron dichos parámetros para concluir de entre todos cuales son los más óptimos.

El biodiesel obtenido se depositó en un embudo de decantación por cada muestra donde se lo dejó en reposo por 24 h con el fin de que se separe el biodiesel de la glicerina, este quedó en la parte superior del embudo mientras que la glicerina en la parte inferior. Posterior a esto se decantó la glicerina la cual como subproducto generado se depositó en un recipiente color ámbar para nuevas investigaciones que pueden derivar a la caracterización y purificación de

la misma para ser empleada en la fabricación de bioplásticos, cosméticos entre otros (Torres et al., 2019). El biodiesel fue lavado con agua destilada calentada a 70 °C, para eliminar las impurezas químicas (gomas). Se empleó agua destilada ya que al ser un disolvente neutro no contamina el biodiesel con otras sustancias químicas (Alfoso, 2013). Esta agua de lavado se recolectó y se le dio un tratamiento de lecho filtrante con car-

bón activo para que la cantidad de contaminantes de la misma no sea excesiva (García, 2021). La humedad del biodiesel se eliminó sometiendo cada muestra a una temperatura de 115 °C, por el espacio de 1 h. Por último, se filtró el biodiesel obtenido usando un sistema de filtración al vacío con un embudo de Buchner y papel filtro whatman del número 40, con el fin de eliminar la mayor cantidad de impurezas (Alfonso, 2013).

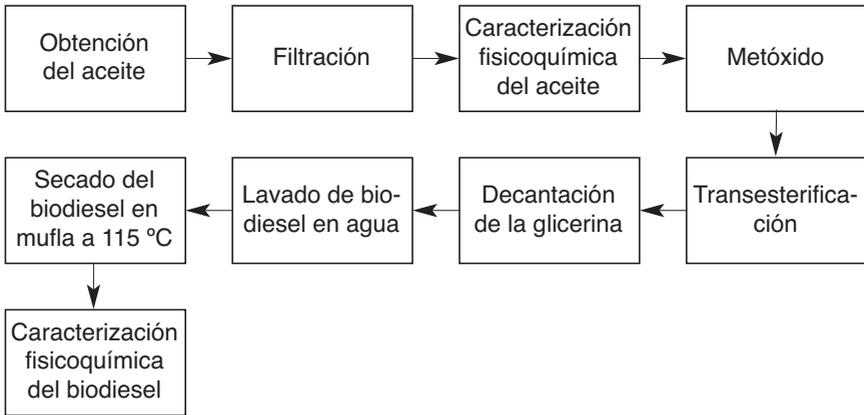


Figura 2. Diagrama de proceso de obtención de biodiesel

Caracterización del biodiesel

La caracterización del biodiesel se realizó a partir de la determinación de viscosidad dinámica, viscosidad ci-

nemática, índice de acidez, índice de yodo, contenido de humedad y densidad. Los resultados obtenidos en estos análisis se compararon con los valores estipulados en norma ASTM

D6751, con el fin de comprobar la calidad del biodiesel obtenido.

Densidad

Para realizar la determinación de la densidad, se utilizó el método del picnómetro que consiste en el cálculo de la densidad a través de la diferencia de peso entre la muestra y una sustancia de referencia en este caso agua destilada y dividiéndolo entre su peso como se muestra en la ecuación 1.

$$\rho = \left(\frac{m_{muestra} - m_p}{m_{H_2O} - m_p} \right) * \rho_{H_2O} \quad (1)$$

Donde:

$m_{muestra}$: Masa del picnómetro con el biodiesel la muestra.

m_p : Masa del picnómetro vacío

m_{H_2O} : Masa de picnómetro con agua destilada.

ρ_{H_2O} : Densidad del agua.

Viscosidad

Para determinar la viscosidad se utilizó un viscosímetro de Ostwald, del cual se obtiene la viscosidad dinámica expresada por la ecuación 2:

$$\frac{n_{H_2O}}{n_{fluido}} = \frac{\rho_{H_2O} * t_{H_2O}}{\rho_{fluido} * t_{H_2O}} \quad (2)$$

n : Viscosidad dinámica.

ρ : Densidad.

t : Tiempo

Con esta viscosidad dinámica y la densidad del producto se obtiene la viscosidad cinética como se muestra en la ecuación 3:

$$\varphi = \frac{\mu}{\rho} \quad (3)$$

Donde:

φ : Viscosidad cinemática.

μ : Viscosidad dinámica.

ρ : Densidad.

Índice de acidez

Para determinar el índice de acidez se pesó 2 g de la muestra y se midieron 10 mL de etanol, se procedió a homogenizar las sustancias y se agregó 3 gotas de fenolftaleína como indicador. Como sustancia titulante se empleó el NaOH y se procedió a titular la muestra tomando en cuenta el consumo del titulante. Para este análisis se emplearon las ecuaciones 4 y 5.

$$\% \text{ ácido oleico} = \frac{cT * nT * Eq * 100}{Pm} \quad (4)$$

Donde:

cT : Consumo del titulante.

nT : Normalidad del titulante.

Eq : Equivalente químico del hidróxido de potasio.

Pm : Peso muestra.

$$IA: \% \text{ ácido oleico} * 1,99 \quad (5)$$

Índice de Yodo

Para determinar el índice de yodo se pesó de 0,13 a 0,15 g de muestra la cual se diluyó en 20 mL de clorofórmico, se homogeneizó y se empleó 15 mL del reactivo Wijs, se lo tapó con papel aluminio para impedir el contacto con la luz y se lo dejó reposar durante una hora dentro de la campana de extracción. Transcurrido el tiempo se agregó a cada muestra 20 mL de una solución de yoduro de potasio en 50 mL de agua destilada.

Finalmente se procedió a titular la muestra con tiosulfato de sodio hasta que el color amarillo de este pase a un color más claro, luego se añadió una pizca de almidón la cual provocó un color azul oscuro en la muestra y se siguió con la titulación

hasta que este color pase a transparente. El cálculo del índice de yodo se realizó mediante la ecuación 6:

$$\text{Índice de yodo} = \frac{(V_1 - V_2) * N * 12,69}{Pm} \quad (6)$$

Donde:

V_1 : Volumen de la titulación en mL del blanco.

V_2 : Volumen de la titulación en mL de la muestra.

N : Normalidad de la solución titulante.

Pm : Peso muestra.

Humedad

Para la determinación de la humedad se utilizaron diferentes crisoles para cada muestra, donde se pesó el crisol con la muestra antes y después de ser llevado a la estufa por un tiempo de una hora a una temperatura de 100 °C. Para este análisis se empleó la ecuación 7:

$$H = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100 \quad (7)$$

Donde:

m_1 : Masa del crisol antes de entrar en la estufa.

m_2 : Masa del crisol a la salida de la estufa.

Rendimiento de biodiesel

Se procedió a pesar las muestras de biodiesel obtenidas, las cuales presentaron pesos similares por ello se empleó un valor de 63,01 g como masa del biodiesel obtenido y un valor de 100 g correspondiente a la masa de la muestra de aceite usado. Para el cálculo de este parámetro se empleó la ecuación 8 (Tovar, 2019):

$$y = \frac{m_p}{m_s} \times 100 \quad (8)$$

Donde:

m_p : Masa de biodiesel obtenido

m_s : Masa de la muestra de aceite usado

RESULTADOS

En la Tabla 1, se reportan las propiedades fisicoquímicas del aceite vegetal residual empleado para la obtención de biodiesel. Se puede observar que varios parámetros obtenidos del

aceite residual a una temperatura de 25 °C se encuentran entre los rangos estipulados en la normativa INEN 1640 de las propiedades fisicoquímicas que debe tener el aceite.

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas del aceite residual a una temperatura de 25 °C

Propiedad	Unidad	Norma INEN 1 640	
DENSIDAD	kg/m ³	918	891-914
VISCOSIDAD CINEMÁTICA	mm ² /s	29,67	–
INDICE DE ACIDEZ	mg KOH/g	1,671	0,2
INDICE DE SAPONIFICACIÓN	mg NaOH/g	190,2	180-270
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	0,05	0,05

En la Tabla 2, se detallan las propiedades fisicoquímicas del biodiesel obtenido experimentalmente a una temperatura de 50 °C y diferentes tiempos de reacción. Esto con el fin

de determinar a qué condiciones se obtiene un biodiesel de mejor calidad con valores de sus propiedades cercanos a los referenciales citados mediante la norma ASTM D-6751

Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas del biodiesel a una temperatura de 50 °C

Propiedades	Unidad	Muestras				Norma ASTM D-6751
		1A	2A	3A	4A	
TIEMPO DE REACCIÓN	min	10	30	50	60	-
DENSIDAD (15°C)	kg/m ³	920,6	915	915	910	870-890
VISCOSIDAD CINEMÁTICA	mm ² /s	3,5654	2,9079	3,0165	3,5520	1,9-6,0
INDICE DE ACIDEZ	mg KOH/g	1,393	0,557	0,278	0,841	Máximo 0,8
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	0,03	0,04	0,04	0,03	0,02-0,05
INDICE DE YODO	g yodo/100g	-	44,07	-	48,22	Norma EN 14214: Máximo 120

Así mismo en la Tabla 3, se detallan las propiedades fisicoquímicas del biodiesel obtenido experimentalmente a una temperatura de 60 °C y diferentes tiempos de reacción. Con la finalidad de comparar los resultados obtenidos con los de la Tabla 2 para así determinar cuál es la tempe-

ratura y el tiempo óptimo para obtener un biodiesel de mejor calidad.

El rendimiento del biodiesel se obtuvo empleando la ecuación 8, dando como valor un rendimiento de 63,01 %.

**Tabla 3. Propiedades fisicoquímicas del biodiesel
a una temperatura de 60 °C**

Propiedades	Unidad	Muestras				Norma ASTM D-6751
		1B	2B	3B	4B	
TIEMPO DE REACCIÓN	min	10	30	50	60	–
DENSIDAD (15°C)	Kg/m ³	907	900,4	898	890,3	870-890
VISCOSIDAD CINEMÁTICA (40°C)	mm ² /s	3,467	2,588	2,496	2,496	1,9-6,0
INDICE DE ACIDEZ	mgKOH/g	0,841	0,561	0,561	0,841	Máximo 0,8
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	0,05	0,06	0,03	0,04	0,02-0,05
INDICE DE YODO	g yodo/100g	–	50,76	–	51,60	Norma EN 14214: Máximo 120

DISCUSIÓN

Es importante determinar las propiedades fisicoquímicas del aceite residual debido a que de esto depende la eficacia de la obtención del biodiesel. A simple vista el aceite empleado para la obtención del biodiesel presentó características tales como un color marrón oscuro, poco contenido de sólidos y un aspecto denso el cual se corroboró calculando la densidad del mismo, valor detallado en la Tabla 1, el cual sobrepasa los límites de la norma INEN descrita, esto debido a la saturación del mismo y por ende al mayor tiempo de calentamiento que ha su-

frido el aceite (Sanaguano et al., 2019).

Como se observa en la Tabla 1 la viscosidad de este aceite (29,67 mm²/s) lo clasifica con grado de viscosidad ISO VG 32, cuyo valor puede oscilar entre (28-35 mm²/s), además esta magnitud se encuentra dentro del rango reportado por otros investigadores (García et al., 2018).

El índice de acidez promedio que se obtuvo como resultado en la Tabla 1 sobrepasa significativamente el valor de la norma, indicando que el aceite

empleado presenta una cantidad considerable de ácidos grasos libres, lo cual puede influir en la calidad del biodiesel obtenido, puesto que mientras más bajo sea este valor menos posibilidad existe de que reaccionen con el catalizador y disminuya la eficiencia de la reacción de transesterificación y así evitar realizar un pretratamiento ácido (Ramírez, 2018)

Por último, se puede observar que en la Tabla 1 el índice de la humedad es sumamente bajo, siendo este un resultado satisfactorio ya que la presencia de humedad en el aceite puede provocar la disminución del rendimiento en la reacción, debido a que el agua reacciona con el catalizador formando jabón afectando al producto que se desea obtener.

Uno de los parámetros más importantes en un combustible es la densidad, debido a la importancia en la combustión, todos los combustibles biodiesel independiente de producirse de aceites vegetales o grasas animales son densos y menos compresibles que el combustible diésel. (García et al., 2018). Según los resultados obtenidos se puede observar que tanto de las Tablas 2 y 3 los valo-

res de la densidad se alejan un poco de los resultados estipulados en la normativa ASTM D6751. El valor más cercano dentro de la norma es el de la muestra 4B, el cual prácticamente se encuentra dentro del límite dispuesto por la normativa.

Es muy importante determinar la viscosidad del biodiesel, debido a que los posibles inconvenientes que se pueden presentar en combustibles muy viscosos sean una combustión incompleta, la formación de depósitos carbonosos en boquillas de inyectores, mayor presión en inyección, mayor volumen de combustible inyectado, etc. (Pérez et al., 2018).

Como podemos observar en la Tabla 2 la muestra que mejor resultado presenta es la 2A siendo su viscosidad (2,9079 mm²/s), en el caso de la Tabla 3 la muestra que mejor viscosidad presenta es la 4B siendo (2,496 mm²/s), encontrándose estos valores dentro de los límites estipulados en la normativa ASTM D-6751, debido a que mientras más alta es la viscosidad más interfiere con el proceso de inyección e induce a una insuficiente atomización del combustible (Pérez et al., 2018).

El valor del índice de acidez es un indicador de la calidad de la reacción de transesterificación, ya que cuanto menor sea la acidez del biodiesel, más eficaz habrá sido la reacción de transesterificación. El mejor resultado obtenido en la Tabla 2 del índice de acidez es de la muestra 3A de (0,27 mg KOH/g), en el caso de la Tabla 3 se observa que las muestras 2B y 3B poseen un valor de (0,561 mg KOH/g) siendo estos los resultados más favorables ya que indica una transesterificación exitosa, eliminando gran parte de los ácidos grasos libres (García et al., 2018).

Es importante medir el contenido de agua para determinar la vida útil del combustible, como se observa en la Tabla 2 las muestras que menor contenido de humedad presentan son 1A y 4A (0,03 %), en el caso de la Tabla 3 la muestra que presenta menor humedad es la 3B (0,03 %), estos valores se encuentran dentro del límite establecido en la normativa, siendo favorables ya que el exceso de humedad es perjudicial para los motores diésel y también afecta la estabilidad

oxidativa del biodiesel (Sánchez, 2021).

En el índice de yodo en la Tabla 2 la muestra que mejor resultado presenta es el número 2 con un valor de (48,22 g yodo/100g) y en la Tabla 3 es la muestra 2 de (51,60 g yodo/100g) encontrándose dentro de los límites estipulados en la normativa EN 14214. Este parámetro es muy importante determinarlo ya que es influenciado grandemente por la oxidación del combustible, oxidación causada por la naturaleza del aceite residual, el cual al ser empleado numerosas veces para freír alimentos se va oxidando impidiendo la captación adecuada de yodo (Duartes et al., 2020).

El rendimiento teórico de la reacción empleada en esta investigación es de 99,47 %. Teniendo en cuenta que experimentalmente influyen factores que pueden generar impurezas al producto a obtener está justificado que estas impurezas afecten el rendimiento del biodiesel aminorándolo.

CONCLUSIONES

Se concluye que se obtuvo biodiesel (B100) a partir de la transesterificación del aceite vegetal de palma residual, obtenido de un local de comida rápida mostrando así que estos aceites empleados en su mayoría para las frituras pueden llegar a tener un uso que contribuirá a la remediación ambiental, evitando una inminente contaminación a causa del desecho estos aceites sin un tratamiento previo. El biodiesel obtenido se comparó con los valores permisibles dentro de las normas estipuladas con el fin de exhibir que el biodiesel obtenido en este trabajo cumple con dichas normativas corroborando la naturaleza del biocombustible.

Una vez que se realizó la caracterización fisicoquímica de cada muestra de biodiesel obtenido se puede visibilizar que los valores de densidad se alejan un poco de la norma establecida a excepción de la muestra 4B sometida a una temperatura de 60 °C durante un tiempo de 60 minutos donde la densidad es de 890,3 kg/m³, así mismo el índice de yodo en esta misma muestra es el más óptimo, sin embargo, el índice de aci-

dez de la misma es alto y se encuentra al límite de la norma. Por otro lado, la muestra sometida a una temperatura de 60 °C durante un tiempo de 50 minutos presenta los mejores resultados en cuanto a parámetros como viscosidad cinemática, contenido de humedad y un índice de acidez adecuado dentro de la norma. Por ello se puede concluir en este trabajo que para obtener un biodiesel de óptima calidad usando aceite de palma residual es conveniente emplear una temperatura para el proceso de 60 °C y un tiempo de reacción de 50 minutos.

Las investigaciones sobre la obtención del biodiesel se han enfocado en usar materias primas que tienen su vida útil intacta, como los aceites de piñón o de higuera, mas no en el uso de materias primas que ya cumplieron su vida útil y como desecho son un foco de contaminación grande para las fuentes de agua. Por ello esta investigación busca despertar el interés en el estudio de emplear los aceites comestibles usados para la obtención de biodiesel e ir optimizando dicho proceso para conseguir

rendimientos mayores. Así se daría solución a dos problemáticas de contaminación actuales; reducir la contaminación por el desecho indiscriminado de aceites comestibles usados y reducir la alta dependencia hacia los combustibles de origen fósil.

LISTA DE REFERENCIAS

- Alfonso, J. (2013). Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del Refugio. (Tesis de posgrado, Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C). Repositorio de Cimav. Recuperado de <https://cimav-repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/349/1/Tesis%20Juan%20Antonio%20Alfonso%20Alvarez.pdf>
- Bombón, A. (2021). Determinación de los índices de degradación en aceites vegetales usados en procesos de fritura en restaurantes de la ciudad de Ambato. (Tesis de grado). Universidad Técnica De Ambato. Recuperado de <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/32552>
- Caro Becerra, J. L., Castellanos Rangel, L., Romero Gonzales, F., & Ruiz Morales, M. (2017). Generación de Biodiesel a partir de residuos de aceites, utilizando un reactor con PLC para la automatización del proceso. *Revista de Energía Química y Física*, Vol.4 No.11, 16-27. <http://www.ecorfan.org/bolivia>
- Castellar, G., Angulo, E.R. & Cardozo, B.M. (2014). "Transesterification vegetable oils using Heterogeneous catalysts", *Prospect*, Vol 12, N° 2, 90-104. <http://www.scielo.org.co/pdf/prosp/v12n2/v12n2a10.pdf>
- Dávila, J. & Cortez, C. (2017). Obtención de Biodiesel a Partir de Aceite de Fritura. (Tesis de grado, Universidad libre de Colombia). Repositorio Unilibre. Recuperado de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10393/Proyecto%20de%20Grado%20BIODIESEL%20%281%29%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Duartes, M., Poveda, M., Fuentes, N., Aguirre, D., Buitrago, D. & Pacheco, M. (2020). Propiedades fisicoquímicas del aceite y de los biodiesel producidos de la *Cocos Nucifera* en el municipio de Barrancabermeja-Santander. *CITECSA, ciencia, tecnología, sociedad y ambiente*, 12(18), 1-10. ISSN: 2027-6745
- García Gámez, FJ. (2021). Diseño de un proceso de tratamiento de 120 m³/día de aguas residuales de la industria petroquímica de producción de metanol mediante tecnología de membranas. Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/173871>
- García, S., Lafargue, F., Labrada, B., Díaz, M. & Sánchez, A. (2018). Propiedades fisicoquímicas del aceite de biodiesel producidos de la *Jatropha curcas* L. en la provincia de Manabí, Ecuador. *Revista Cubana de Química*, 30 (1), 220-228. ISSN 2224-5421
- García, J., Mendoza, J., García, S., Burgos, G. & García, G. Epoxidación del aceite vegetal de *Jatropha Curcas* L. con ácido fórmico, de la provincia de Manabí, Ecuador. *Bases de la Ciencia*, 6 (3), 21-32. <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedela-ciencia/article/view/4125/4341>
- Gonzales, I. & Gonzales, J. (2015). 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. Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia.
- Guayara, A., Rodriguez, A., Rubio, J., & Gallegos, W. (2017). Evaluación del proceso de obtención de biodiesel por catálisis heterogénea a partir de la grasa de pollo recuperada de los residuos generados en el proceso de cocción. *INNOVA Research Journal*, 2(12), 99-111. <https://doi.org/10.33890/innova.v2.n12.2017.309>
- Gutiérrez, E. (2020). Estudio y análisis de la obtención de biodiésel a partir de *jatropha curcas* y aplicación a los motores de combustión interna alternativo. (Trabajo Fin de Grado Inédito). Universidad de Sevilla, Sevilla. Depósito de investigación de la Universidad de Sevilla. Recuperado de <https://hdl.handle.net/11441/105061>
- Hernández, C. (2019). *Diseño conceptual de un proceso para la obtención de Biodiesel a partir de aceite usado de fritura* (Tesis de grado, Universidad Politécnica de Va-

- lencia). Repositorio institucional de la Universidad Politécnica de Valencia <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/134029/Hernandez%20-%20Dise%C3%B1o%20conceptual%20de%20un%20proceso%20para%20la%20Obtenci%C3%B3n%20de%20Biodiesel%20a%20partir%20de%20aceite%20usa...pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Grupo Técnico DEAGA. (2016). Módulo de información ambiental en hogares. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). Recuperado de <https://www.ecuadoren-cifras.gob.ec/>
- NTE INEN 1640 (Norma Técnica Ecuatoriana- Instituto Ecuatoriano de Normalización) (2012): Aceite comestible de palma africana – oleína. Requisitos. Recuperado de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1640-1.pdf>
- Llanes, A., Rocha, J., Salazar, P. & Medrano, J. (2017). “Producción e Impacto del Biodiesel: Una Revisión. *INNOVA*, Vol. 2, No.7 pp. 59-76. <https://doi.org/10.33890/innova.v2.n7.2017.229>
- López, L., Bocanegra, J. & Malagón, D. (2015). Obtención de biodiesel por transesterificación de aceite de cocina usado. *Ingeniería y Universidad*, 19(1), 155-172. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.iyu19-1.sprq>
- Ortega, A. O. (2018). Enfoques de investigación. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Alfredo_Oterg_Ortega/publication/326905435_ENFOQUES_DE_INVESTIGACION_TABLA_DE_CONTENIDO_Contenido/links/5b6b7f9992851ca650526dfd/ENFOQUES-DE-INVESTIGACION-TABLA-DECONTENIDO-Contenido.pdf el, 14.
- Pérez, A., Rodríguez, I., Delgado, R. & Hernández, E. (2018). Elaboración y caracterización físico-química de biodiesel a partir de aceite de girasol utilizando un reactor modelo DL BIO30. *Revista de Ingeniería Biomédica y Biotecnología*, 2(6), 11-15. https://www.ecorfan.org/taiwan/research_journals/Ingenieria_Biomedica_y_Biotecnologia/vol2num6/Revista_de_Ingenier%C3%ada_Biom%C3%a9dica_y_Biotecnolog%C3%ada_V2_N6_2.pdf
- Ramírez, T. (2018). Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de aceites y grasas residuales potenciales para la producción de biocombustibles. (Tesis de grado, Centro

de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica S.C.). Repositorio CI-DETEQ. Recuperado de https://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1021/369/1/Evaluaci%C3%B3n%20de%20las%20propiedades%20fisicoqu%C3%ADmicas%20de%20aceites%20y%20grasas%20residuales%20potenciales%20para%20la%20producci%C3%B3n%20de%20biocombustibles_rees.pdf

Saavedra, R. M., García, H. J., Pinto, M. I., & Baigorí, M. D. (2018). Biodiesel a partir de aceite usado de locales gastronómicos: efecto de la temperatura de reacción. *Redalyc*, 5, *Extensionismo, Innovación y Transferencia tecnológica*, 5(1), 320-325. <http://dx.doi.org/10.30972/eitt.503767>

Sanaguano, H., Bayas, F. & Cabrera, C. (2019). Componentes presentes en el aceite de fritura usado y determinantes previos a su conversión en biodiesel. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, 22 (44), 33-38. <http://dx.doi.org/10.15381/iigeo.v22i44.17283>.

Sánchez, E. (2021). Obtención de biodiesel a partir de aceites vegetales empleando catalizadores sólidos nanoestructurados. (Tesis doctoral, Universidad Tecnológica Nacional). Repositorio de la Universidad Tecnológica Nacional. Recuperado de <https://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12272/5187/Tesis%20Doctoral%20-%20S%C3%A1nchez%20Faba%20C%20Edgar%20M.%20-%20UTN%20FRC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sánchez, G. & Restrepo, J. (2020). Propuesta de enseñanza de la química a través de herramientas virtuales, simulando procesos de elaboración de biodiesel y jabón artesanal, para la construcción de prácticas sostenibles en el Colegio GIM de Bogotá DC (Doctoral dissertation, Corporación Universitaria Minuto de Dios). Recuperado a partir de <https://hdl.handle.net/10656/10715>

Salazar López, B. (2021). *Modelo de abastecimiento de aceite usado de cocina para la producción sostenible de biodiésel*. (Tesis de grado, Universidad Autónoma de Occidente (UAO)). Repositorio institucional de la Universidad Autónoma de Occidente <https://hdl.handle.net/10614/12997>

Torres-Rivero, L. A., Ben-Youssef, B. C. & Pérez-Gasca, M. F. (2019). Características de la glicerina obtenida del proceso de la reacción del metóxido de sodio en la pro-

ducción del Biodiesel. *Revista de Energía Química y Física*, 18-28. <https://doi.org/10.35429/jcpe.2019.18.6.18.28>

Tovar Torres, M. L. (2019). Análisis de Parámetros para la Producción de Biodiesel a partir de Aceite de Cocina Usado. *Revista EJE - Engineering Journal ECCI*, 1(1). Recuperado a partir de <https://revistas.ecci.edu.co/index.php/eje/article/view/608>

Zarate, J. A. (2020). Biodiesel preparado a partir de aceite residual de restaurantes. una revisión sistemática 2009-2019 (Trabajo de investigación). Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Recuperado de <https://hdl.handle.net/11537/26204>