

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

Biodiesel elaborado a partir de aceite residual

**Artículo científico previo a la obtención del título de Licenciada en Ciencias
Químicas con mención en Química Analítica**

VALERIA GERMANIA ANDRANGO GAVILANES

Quito, 2022

Quito, 17 de noviembre de 2022

Certifico que el artículo científico de Licenciatura en Ciencias Químicas con mención en Química Analítica, de la Srta. Valeria Germania Andrango Gavilanes ha sido concluido de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.



Firmado digitalmente por:
**JULIO CESAR
VINUEZA
GALARRAGA**

Dr. Julio César Vinueza Galarraga
Director

BIODIESEL ELABORADO A PARTIR DE ACEITE RESIDUAL

BIODIESEL PRODUCED FROM WASTE OIL

Valeria Andrango¹, Julio Vinueza G¹.

Palabras clave: Aceite residual, transesterificación, propiedades fisicoquímicas, biodiesel, cromatografía de gases

Keywords: Residual oil, transesterification, physico-chemical properties, biodiesel, gas chromatography

RESUMEN

Los desechos en gran escala de aceite vegetal constituyen una problemática medio ambiental por el poco tratamiento de estos residuos, lo que ha conllevado a la búsqueda de proyectos alternativos para el uso de estos aceites. En este sentido, el presente trabajo de investigación tiene como finalidad la producción de biodiesel a partir de aceites usados mediante la reacción de transesterificación utilizando metanol con relación molar aceite:alcohol 1:6 y como catalizador hidróxido de sodio 0,5%, tiempo de reacción 60 min, 50 – 55°C a 400 rpm. Se ha verificado la calidad de la materia prima, así como del producto a partir de la evaluación de la densidad, índice de acidez, índice de saponificación, índice de yodo, índice de peróxido y la determinación de los ácidos grasos por cromatografía de gases con detector de ionización de llama. Los parámetros fisicoquímicos dieron como resultado valores confiables que al ser comparados con las normas ASTM muestra que las derivaciones obtenidas cumplen con los estándares. De igual manera, GC-FID exhibió que ácido palmítico, oleico, linoleico fueron los componentes mayoritarios en aceite y biodiesel.

ABSTRACT

Large-scale waste of vegetable oil is an environmental problem due to the low treatment of this waste, which has led to the search for alternative projects for the use of these oils. In this sense, the present research work aims at the production of biodiesel from waste oils by means of the transesterification reaction using methanol with molar ratio oil:alcohol 1:6 and as

¹ Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Escuela de Ciencias Químicas, Quito, Ecuador (vandrang075@puce.edu.ec; jvinueza@puce.edu.ec)

sodium hydroxide catalyst 0,5%, reaction time 60 min, 50 - 55°C at 400 rpm. The quality of the raw material as well as the product has been verified from the assessment of density, acidity index, saponification index, Iodine index, peroxide index and fatty acid determination by gas chromatography with flame ionization detector. The physico-chemical parameters resulted in reliable values that when compared with the ASTM norms show that the derivations obtained comply with the standards. Similarly, GC-FID showed that palmitic, oleic, linoleic acid were the major components in oil and biodiesel.

INTRODUCCIÓN

Los elevados niveles de contaminación se han convertido en una de las problemáticas contemporáneas más importantes pues, la contaminación no es un fenómeno que afecta únicamente al medio ambiente, sino que también tiene efectos severos y negativos sobre la salud de los seres humanos (Azuma et al. 2018).

Diversos estudios determinan que las proyecciones de emisiones de dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x) para el año 2022 aumentarán en un 10 %, 17 % y 50 %, respectivamente (Xing et al. 2011). Por esta razón es necesario controlar los niveles de estos contaminantes específicos y por ende buscar alternativas de combustibles; y es en donde el biodiesel juega un papel fundamental pues este se considera como una alternativa renovable que se caracteriza por generar un menor índice de emisiones contaminantes a la

atmósfera en comparación con los combustibles de origen petroquímico (Chincholkar et al. 2005).

El término biodiesel se refiere a un combustible sintético, elaborado a base de aceite vegetal o grasa animal, cuya estructura química consiste en ésteres de alquilo de cadena larga. En este sentido, cabe destacar que el proceso de producción de biodiesel se basa en la reacción química de los lípidos con un alcohol lo que genera como producto nuevos ésteres de ácidos grasos y el alcohol utilizado (Atabani et al. 2012). Por su parte, el término aceite de cocina residual se refiere al aceite vegetal obtenido luego de la cocción de alimentos. La fritura reiterada para la preparación de alimentos hace que el aceite vegetal comestible ya no sea adecuado para el consumo debido al alto contenido de ácidos grasos libres, ácidos grasos trans,

lipoperóxidos, es aquí donde nace una problemática importante relacionada con los problemas ambientales al momento de su eliminación, la contaminación del agua y el suelo junto con la preocupación por la salud humana y la perturbación del ecosistema acuático. Por lo anterior, se plantea como una alternativa el usarlo como materia prima eficaz y rentable para la fabricación de biodiesel (Kawentar y Budiman 2013). Cabe destacar que la principal ventaja del uso de biodiesel frente al diésel convencional es que se considera un combustible limpio, debido a su bajo contenido en azufre y compuestos aromáticos, además, presenta aproximadamente un 10% de oxígeno incorporado, lo que ayuda a que la combustión sea completa (Encinar, González, y Rodríguez-Reinares 2005). Uno de los aspectos que se debe tomar en cuenta cuando el aceite de cocina usado es utilizado como materia prima, son sus propiedades fisicoquímicas pues estas son distintas a la de los aceites vegetales refinados y crudos, ya que la presencia de calor y agua aceleran la hidrólisis de los triglicéridos y aumenta el contenido de ácidos grasos libres (FFA) (Sahar et al. 2018). Se considera que la síntesis de biodiesel se puede llevar a cabo durante

tres distintos procesos que involucran la transesterificación del aceite empleando una base como catalizador, la transesterificación empleando un ácido como catalizador y por la conversión de los aceites en ésteres y posteriormente en biodiesel lo cual es beneficioso ya que evita la formación de jabón en la reacción (Kawentar y Budiman 2013).

En este sentido se considera que el proceso de transesterificación es la base de la obtención de biodiesel y este depende de varios parámetros, como temperatura y presión de reacción, tiempo de reacción, velocidad de agitación, tipo de alcohol utilizado, relación molar de alcohol: aceite, tipo y concentración de catalizador utilizado, concentración de humedad y el contenido de ácidos grasos libres en el aceite utilizado como materia prima (Kawentar y Budiman 2013). En la actualidad, la forma más común de producción de biodiesel es mediante el uso de un catalizador base homogéneo, como el hidróxido de sodio (NaOH) o el hidróxido de potasio (KOH), los cuales son los más utilizados debido a su capacidad de catalizar la reacción a baja temperatura y presión atmosférica, así como también debido a que permiten lograr una alta conversión en un tiempo

mínimo y además se consideran reactivos ampliamente disponibles y económicos. De igual manera, estudios recientes se han centrado en evaluar el uso de catalizadores sólidos principalmente hidróxido de sodio e hidróxido de potasio, reactores de membrana, columnas de destilación y fluidos supercríticos para la obtención de biodiesel, así como también se ha evaluado el efecto en las emisiones del combustible según el tipo de alcohol empleado en la reacción de transesterificación a partir de lo cual se ha llegado a la conclusión de que el rendimiento al emplear aceite vegetal

MATERIALES Y MÉTODOS

La elaboración de biodiesel se realizó mediante una transesterificación de aceite residual combinado con metanol relación 1:6, y el catalizador fue NaOH al 0,5%, el cual fue agitado en un matraz Erlenmeyer. La mezcla fue sometida a calentamiento 50 – 55 °C y agitación 400 rpm durante 1

Recolección de la muestra

La toma de la muestra se realizó en un restaurante situado en el Distrito Metropolitano de Quito en la zona de la Magdalena. Para esto, un total de 1 L de aceite usado fue recogido de un punto

usado es similar al obtenido con aceite virgen (superior al 90 %), pero que existe una reducción de costos entre 60 y 90% (Hamze, Akia, y Yazdani 2015).

Por otra parte, se debe resaltar que la caracterización del biodiesel obtenido se realiza generalmente por cromatografía de gases con detector de ionización de llama (GC-FID), mediante la determinación del porcentaje de ésteres metílicos de ácidos grasos como un indicador de la calidad del producto obtenido (Riesco et al. 2017). En el presente trabajo de investigación se propone la elaboración de biodiesel residual y su evaluación fisicoquímica.

hora. Con el fin de separar las fases, la mezcla fue colocada en un embudo de decantación para luego proceder con el lavado del biodiesel hasta alcanzar un pH neutro.

previamente establecido (Restaurante Picantería “Rosita”). A continuación, la muestra se filtró a través de papel filtro Whatman #40 con la ayuda de una bomba de vacío, y el producto resultante se homogenizó en un recipiente de plástico

para luego ser almacenado a temperatura ambiente.

Metodología

Densidad

La densidad se determinó haciendo uso de un densímetro portátil Densito 30PX, Mettler Toledo.

Índice de Acidez

Para la determinación de acidez se llevó a cabo una titulación con solución de NaOH de concentración 0,1 N. Para esto, se disolvió 2 g de la muestra de aceite en un matraz de 250 mL y se agregó 50 mL de alcohol etílico 96%, agitación constante durante un minuto y se valoró con la solución estandarizada de hidróxido de sodio 0,1 N.

Índice de Saponificación

Se pesó aproximadamente 2 g de muestra y se colocó en un matraz Erlenmeyer en el cual se adicionó 40 mL de una solución alcohólica de KOH 0,5 N. El matraz fue conectado al refrigerante de reflujo y se lo mantuvo en calentamiento durante 30 minutos. Una vez terminada la saponificación y enfriada la muestra, se colocó 1 mL de fenolftaleína y se tituló con una solución de HCl 0,5 N.

Índice de Yodo

0,25 g de la muestra se pesaron en un matraz Erlenmeyer y se añadieron 10 mL

de cloroformo a cada uno, posteriormente se agregaron 25 mL del reactivo de Wijs. La mezcla se agitó y se dejó en reposo en un lugar oscuro durante 30 minutos. Transcurrido el tiempo de reposo se adicionó 15 mL de KI al 15 % y 100 mL de agua destilada caliente. Se dejó enfriar el contenido y se tituló el yodo libre con la solución 0,1 N de tiosulfato de sodio hasta la desaparición del color amarillo. Para finalizar se añadió 2 mL de una solución indicadora de almidón y se procedió a titular hasta que el color azul desapareció totalmente.

Índice de Peróxido

En un matraz Erlenmeyer con tapón esmerilado se pesó 4 g de muestra y se colocó 30 mL de una solución de ácido acético y cloroformo 3:2. Se agitó el matraz hasta evidenciar la disolución del contenido y luego se añadió 1 mL de una solución saturada de KI. El contenido se dejó en reposo durante 15 minutos protegiéndolo de la luz. Una vez transcurrido el tiempo, se agitó el matraz por 1 minuto y se adicionó 25 mL de agua destilada. Se procedió a la titulación con la solución de tiosulfato de sodio 0,1 N hasta evidenciar un ligero color amarillo en la

fase acuosa, y finalmente se añadió 0.5 mL de la solución indicadora de almidón y se continuó con la titulación hasta observar la desaparición del color azul de la solución.

Cromatografía de gases

Los análisis se realizaron en un cromatógrafo de gases, con detector de ionización por llama (FID), Perkin Elmer Clarus 500, con programa para procesamiento de datos, en una columna capilar Famewax - RESTEK (30 m x 0,25

mm x 0,25 μm). La rampa de temperatura fue: 100 °C por 2 min, de 140 °C a 10 °C/min, de 190 °C a 3 °C/min, de 260 °C a 30 °C/min y 2 min final a 260 °C. Las temperaturas del inyector y del detector fueron 230 °C y 260 °C respectivamente. El flujo del gas portador (H_2) fue 40 cm/s, la llama se formó con H_2 (45 mL/min) y aire (450 mL/min) y el volumen de inyección fue de 1 μL .

RESULTADOS

Una vez finalizada la reacción de transesterificación, se obtuvieron como productos: ésteres (biodiesel) y glicerina.

La fase de glicerol se halla en la parte inferior del recipiente debido a que es mucho más densa que la fase de biodiesel.



Gráfico 1: Producto final de la transesterificación.

Con respecto a la obtención de biodiesel a partir de aceite residual catalizado por NaOH y esterificado con metanol, se tomó

en cuenta 7 parámetros. En la Tabla 1 se presentan los parámetros de experimentación y sus respectivos valores.

Tabla 1. Parámetros de obtención biodiesel

Parámetro	Cifra
Aceite	228,0 g
Catalizador	1,1351 g
Alcohol	51,58 g
Temperatura	55 °C
Velocidad de agitación	400 rpm
Tiempo	60 min
Relación molar aceite:alcohol	1:6

A partir de las muestras de aceite y biodiesel, obtenido previamente mediante transesterificación, se llevó a cabo parte del estudio que fue el análisis de las propiedades fisicoquímicas las cuales se presentan en la Tabla 2.

En resultados de densidad se puede observar que los valores concuerdan con el rango de densidades reportadas en estudios realizados previamente (Villadiego 2015) tanto para aceite como para biodiesel. Para el índice de acidez, el aceite presenta un mayor valor, siendo este de 1,23 mg KOH/g. Mientras que para biodiesel el índice de acidez es menor a 0,5 mg KOH/g ya que los ácidos libres del aceite se esterificaron con el metanol.

El índice de saponificación demuestra que el mayor contenido de ácidos grasos libres es del aceite residual. Se puede notar que para ambas muestras los valores obtenidos se encuentran por debajo de la norma standard (Knothe 2010).

De acuerdo al índice de yodo de las muestras, el cual determina el estado de instauración de los ácidos grasos, se aprecia que la muestra de biodiesel es aquella que tiene el mayor grado de insaturación.

Al analizar los valores del índice de peróxido obtenido se evidencia que la muestra de biodiesel presenta un valor de 27,14 m-eq O²/kg siendo este mayor al índice del aceite.

Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas del aceite de cocina usado y biodiesel producido

Parámetro	Unidad	Aceite	Biodiesel
Densidad	kg/m ³	890,27±0,05774	881,07±0,05774
Índice de Acidez	mg KOH/g	1,9622±0,00075	0,44827±0,00025
Índice de Saponificación	mg KOH/g	185,61±0,31182	311,83±0,15133
Índice de Yodo	g I ² /100g muestra	104,50±0,42724	109,59±0,60655
Índice de Peróxido	m-eq O ₂ /kg	18,140±0,09644	27,273±0,06028

Para realizar un estudio más profundo, la Tabla 3 exhibe los resultados y estadísticos asociados con la composición de los ácidos grasos determinados por

cromatografía de gases con detector de ionización de llama (GC-FID) en el aceite residual y biodiesel respectivamente.

Tabla 3. Composición de los ácidos grasos de aceite residual y biodiesel

Ácidos grasos	Aceite				Biodiesel			
	A1 [%]	A1R [%]	Media	Desviación Estándar	A2 [%]	A2R [%]	Media	Desviación Estándar
C16:0	20,11	20,71	20,41	0,3	20,58	20,52	20,55	0,03
C18:1	31,68	35,05	33,37	1,685	35,49	35,72	35,61	0,115
C18:2	26,22	30,83	28,53	2,305	31,00	31,45	31,23	0,225
C18:3	2,69	2,18	2,435	0,255	2,21	2,32	2,265	0,055
C20:2	1,58	0,83	1,205	0,375	0,44	0,24	0,34	0,1

*A1 muestra de aceite, A1R duplicado muestra de aceite, A2 muestra de biodiesel y A2R duplicado muestra de biodiesel.

DISCUSIÓN

La obtención de biodiesel se basa en una reacción de transesterificación de aceite de cocina usado con metanol en presencia de un catalizador que en este caso es el hidróxido de sodio para formar ésteres metílicos.

En este sentido, los parámetros de obtención de biodiesel expuestas en la Tabla 1 permiten determinar las condiciones aptas para la elaboración. Se utilizó aceite de cocina proveniente de restaurantes debido a que contiene residuos grasos animales y vegetales, los mismos que son una materia prima barata. Así como, el catalizador básico NaOH que permite una transesterificación más rápida y es eficaz al 0,5% en peso en relación con la materia prima, relación molar de metanol/aceite de 6:1, consiguiendo de esta manera un 91% de rendimiento de los triglicéridos a éster metílico, junto con alcohol de cadena corta CH₃OH debido a su alta reactividad y bajo costo. Por otra parte, el rango de temperatura a la cual se debe llevar a cabo el proceso de elaboración es 55°C, debido a que a una temperatura más elevada del punto de ebullición del metanol este se evapora y produce un rendimiento menor. Así como también, la agitación debe ser constante durante 60 min para que se dé la reacción

completa y conseguir un producto idóneo.

Una ventaja adicional para tratar el producto final fue la purificación con agua de lavado caliente ya que permite eliminar contaminantes como catalizador sin reaccionar, agua, alcohol, glicerina libre y jabones. Cabe mencionar que, este procedimiento se lo realizó hasta obtener un pH neutro. En el presente estudio, y en base a los ensayos realizados, el número de lavados óptimos son 4.

El aceite sufre cambios en el proceso de freído, estos son el alto contenido de ácidos grasos libres y agua que disminuyen la eficiencia de la reacción de transesterificación, motivo por el cual se analizó las propiedades fisicoquímicas de la materia prima, así como del producto final.

La Tabla 2 permite evidenciar que la densidad es una propiedad importante debido a que tiene efecto en la eficiencia de la atomización. Los combustibles biodiesel elaborados a partir de aceites vegetales o grasas son densos y menos compresibles que el diésel convencional. La literatura detalla que según los estándares la densidad oscila entre 860 kg/m³ y 900 kg/m³ para biodiesel y aceite (Molina Mayo 2013). Las densidades medidas 890,27 kg/m³

aceite y 881,07 kg/m³ biodiesel son similares al rango informado por otros estudios realizados que reportan densidades de 917,70 y 910,20 kg/m³ para aceite, y 883 kg/m³ biodiesel(García-Díaz, Gandón-Hernández, y Maqueira-Tamayo 2013)(Koh y Tinia 2011).

El índice de acidez corresponde a la presencia de ácidos grasos libres. Si existe mayor cantidad de ácidos libres permite un mayor índice de acidez, lo cual se evidencia en la Tabla 2, ya que en el biodiesel los ácidos grasos libres se transformaron a ésteres metílicos y su valor de índice de acidez es 0,44827 mg KOH/g, este valor se encuentra por debajo del límite establecido que es 0,5 mg KOH/g (Sahar et al. 2018). Mientras que, el aceite posee un índice de acidez más elevado (1,9622 mg KOH/g) que el biodiesel porque este es un ácido graso y se halla por encima del límite establecido que es 0,8 mg KOH/g (Suzihaque et al. 2022)(Montenegro Mier, Sierra Vargas, y Guerrero Fajardo 2012). Los índices de acidez informados en la presente investigación se hallan cercanos a los reportados en otros estudios 2,73 y 1,87 mg KOH/g en aceite y 0,6 mg KOH/g biodiesel(Montenegro Mier et al.

2012)(Murcia Ordoñez, Carlos Chaves, et al. 2013)(Sahar et al. 2018).

El índice de saponificación nos permite determinar la posibilidad de que el aceite de freír se convierta en jabón, mediante lo cual es posible estimar que entre más elevado sea el valor obtenido de esta determinación existirá la probabilidad de que el contenido de glicerol en el producto obtenido de la transesterificación sea elevado. En consecuencia, la presencia de jabón afectaría al rendimiento de la reacción. En la experimentación, los valores obtenidos de índice de saponificación para aceite y biodiesel se encuentran en un nivel por debajo de los valores restrictivos, obteniéndose así un porcentaje de recuperación del 91%. Dentro del análisis, un parámetro que fue esencial y que se debe tomar en cuenta, es la temperatura de reacción, debido a que influye directamente en el proceso, pues si la temperatura se eleva sin control alguno, la reacción se acelera y se saponifican los triglicéridos, ocasionando jabones y otros subproductos. Según estudios, se reporta el índice de saponificación para aceite entre 180 - 200 mg KOH/g, mientras que en este estudio la magnitud hallada fue próxima a las reportadas (185,61 mg KOH/g)(Murcia Ordoñez, Carlos Chaves, et al. 2013)(Koh

y Tinia 2011). Por otro lado, el índice de saponificación para biodiesel conseguido 311,83 mg KOH/g coincide con el de la literatura 312 mg KOH/g (Khan et al. 2019)(Sahar et al. 2018).

En cuanto se refiere al índice de yodo, es posible destacar que el valor obtenido fue de 104,50 g I²/100g aceite y 109,59 g I²/100g biodiesel, demostrando así una menor presencia de ácidos insaturados en la composición de la muestra y esto se confirma por su valor de índice de yodo bajo frente a la normativa establecida (<120 g I²/100g muestra (Sahar et al. 2018). Este parámetro nos permitirá conocer, que dependiendo del valor de índice de yodo de la materia prima se optimizará la operatividad del biodiesel a bajas temperaturas y mejores características de fluidez. La literatura reporta que hay dos factores influyentes en la presente determinación, siendo estos la longitud de la cadena y número de dobles enlaces. Las reducciones de la longitud de la cadena o aumento del número de dobles enlaces darán paso a un mayor índice de yodo. Distintos estudios han detallado que el índice de yodo se encuentra en el rango de 99,5 - 107,8 g I²/100g aceite y 63,5 g I²/100g biodiesel (Ramírez et al. 2013)(Sahar et al. 2018). En el caso del

aceite de freír, el índice de yodo reportado en el presente estudio se encuentra dentro del rango citado, mientras que, en biodiesel la magnitud conseguida se encuentra alejada a la reportada (Sahar et al. 2018).

Con respecto al índice de peróxido, se utiliza este parámetro como un indicador de degradación de aceites vegetales empleados en procesos de fritura. Investigaciones han reportado que la temperatura influye directamente en la degradación, por encima de los 60 °C la velocidad de oxidación se duplica (García-Díaz et al. 2013)(Montenegro Mier et al. 2012). El valor de índice de peróxido reportado en este estudio 18,140 m-eq O₂/kg, refleja que la materia prima utilizada pasó por varias etapas de tratamiento térmico pues el valor obtenido es mayor a otros estudios (Tápanes, Téllez, y Gómez 2004)(Pérez-Arquillué et al. 2003). Para el biodiesel, el índice de peróxido no es regulado por las normas nacionales e internacionales, sin embargo, es posible analizar que al obtener un valor 27,273 m-eq O₂/kg que es considerablemente alto, el bio-

combustible tendrá una combustión completa (Karin et al. 2022).

En el análisis por cromatografía de gases con detector de ionización de llama (GC-FID), los ácidos grasos identificados y presentes en la muestra de aceite de freír y biodiesel son: palmítico (C16:0), oleico (C18:1), linoleico (C18:2), linolénico (C18:3), araquídico (C20:0) y eicodesaneico (C20:2).

En ambos casos es posible observar que, con respecto a ácidos grasos saturados el predominante es el palmítico (16:0) mientras que para ácidos grasos insaturados el relevante es el oleico (18:1). Estudios reportan que existen magnitudes entre 10,5 y 20% para el ácido palmítico, valores cercanos a la cifra reportada (Chitue-de-Assuncao-Nascimento et al. 2013)(Murcia Ordoñez, Chaves, et al. 2013). Por otro lado, investigaciones han

CONCLUSIÓN

Se logró llevar a cabo la producción de biodiesel a partir de aceite residual, determinando las condiciones favorables para su fabricación, siendo estas: aceite y metanol relación 1:6, catalizador 0,5%, calentamiento 50 – 55 °C y agitación 400 rpm durante 1 hora, que obtuvo un rendimiento exitoso de 91%. Sobre la

indicado que la cantidad de ácido oleico se encuentra entre 49,467 y 30,934 %, el valor conseguido en la presente experimentación está dentro del rango de la literatura (Rodríguez 2011)(Koh y Tinia 2011)(Sánchez Perona et al. 2001)(Ciubota-Rosie et al. 2013).

La tabla 3 permite realizar un análisis de la composición de ácidos grasos, en donde se informa que los insaturados constituyen el 75% y los saturados el 25%. Al tener mayor porcentaje de ácidos grasos insaturados, el biodiesel posee mejores propiedades debido a la acción del oxígeno sobre las insaturaciones de los ácidos grasos(Molina Mayo 2013). El biodiesel contiene ésteres metílicos de ácidos grasos que se caracterizan por ser susceptibles a las reacciones de oxidación (Knothe 2005).

evaluación sobre la calidad del aceite se concluye que la materia prima utilizada presenta buenas características fisicoquímicas ya que los resultados arrojados de las pruebas realizadas muestran que los valores obtenidos coinciden con otros estudios. Por consiguiente, el biodiesel generado a partir

de él presenta propiedades fisicoquímicas que se hallan dentro de los límites de los estándares ASTM para biodiesel. Ácido palmítico, oleico, linoleico fueron los principales componentes del biodiesel. En definitiva, el biodiesel a partir de la

transesterificación de aceite residual constituye un proceso viable para la producción de biocombustibles que disminuirían crisis energéticas y contribuirían a la remediación ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

- Atabani, A. E., A. S. Silitonga, Irfan Anjum Badruddin, T. M. I. Mahlia, H. H. Masjuki, y S. Mekhilef. 2012. «A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16(4):2070-93.
- Azuma, Kenichi, Naoki Kagi, U. Yanagi, y Haruki Osawa. 2018. «Effects of low-level inhalation exposure to carbon dioxide in indoor environments: A short review on human health and psychomotor performance». *Environment International* 121(June):51-56.
- Chincholkar, Srivastava S., Rehman A., Dixit S., y Lanjewar A. 2005. «Biodiesel as an Alternative Fuel for Pollution Control in Diesel Engine». *Asian J. Exp. Sci* 19(2):13-22.
- Chitue-de-Assuncao-Nascimento, Juliano, Francisco Lafargue-Pérez, Manuel Díaz-Velázquez, Norberto Barrera-Vaillant, David Arrero-Delange, y Katuska Varela-Hernández. 2013. «Análisis cromatográfico del aceite vegetal de *Jatropha curcas* L. crudo y refinado». *Revista Cubana de Química* XXV(2):143-49.
- Ciubota-Rosie, Camelia, José Ramón Ruiz, María Jesús Ramos, y Ángel Pérez. 2013. «Biodiesel from *Camelina sativa*: A comprehensive characterisation». *Fuel* 105:572-77.
- Encinar, José M., Juan F. González, y Antonio Rodríguez-Reinares. 2005. «Biodiesel from used frying oil. Variables affecting the yields and characteristics of the biodiesel». *Industrial and Engineering Chemistry Research* 44(15):5491-99.
- García-Díaz, Marilin, José Gandón-Hernández, y Yudisel Maqueira-Tamayo. 2013. «Estudio de la obtención de biodiesel a partir de

- aceite comestible usado». *Tecnología Química* 33(2):162-69.
- Hamze, Hoda, Mandana Akia, y Farshad Yazdani. 2015. «Optimization of biodiesel production from the waste cooking oil using response surface methodology». *Process Safety and Environmental Protection* 94(C):1-10.
- Karin, Preechar, Aphichai Tripatara, Phyowai, Ban-Seok Oh, Chinda Charoenphonphanich, Nuwong Chollacoop, y Hidenori Kosaka. 2022. «Influence of ethanol-biodiesel blends on diesel engines combustion behavior and particulate matter physicochemical characteristics». *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* 6:100249.
- Kawentar, Wanodya Asri, y Arief Budiman. 2013. «Synthesis of biodiesel from second-used cooking oil». *Energy Procedia* 32:190-99.
- Khan, Haris Mahmood, Chaudhry Haider Ali, Tanveer Iqbal, Saima Yasin, Muhammad Sulaiman, Hamayoun Mahmood, Muhammad Raashid, Mohsin Pasha, y Bozhong Mu. 2019. «Current scenario and potential of biodiesel production from waste cooking oil in Pakistan: An overview». *Chinese Journal of Chemical Engineering* 27(10):2238-50.
- Knothe, Gerhard. 2005. «Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters». *Fuel Processing Technology* 86(10):1059-70.
- Knothe, Gerhard. 2010. «Calidad del combustible biodiesel y la norma ASTM». *Palmas* 31(especial):162-71.
- Koh, May Ying, y Tinia Idaty Tinia. 2011. «A review of biodiesel production from *Jatropha curcas* L. oil». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(5):2240-51.
- Molina Mayo, Carlos. 2013. *Estudio de la composición y estabilidad de biodiesel obtenido a partir de aceites vegetales limpios y procedentes de aceites de fritura.*
- Montenegro Mier, Manuel Antonio, Fabio Emiro Sierra Vargas, y Carlos Alberto Guerrero Fajardo. 2012. «Producción y caracterización de biodiésel a partir de aceite de pollo». *Informador Técnico* 76:62.
- Murcia Ordoñez, Betselene, Luis Carlos Chaves, Wilson Rodríguez-Pérez,

- Miguel Andredy Murcia, y Edna Rocío Alvarado. 2013. «Biodiesel de aceite residual de cocina
Caracterización de biodiesel obtenido de aceite residual de cocina
Characterization of Biodiesel obtained from waste cooking oil». *Rev. Colomb. Biotecnol* (1):61-70.
- Murcia Ordoñez, Betselene, Luis Carlos Chaves, Wilson Rodríguez-Pérez, Miguel Andredy Murcia, y Edna Rocío Alvarado. 2013. «Caracterización de biodiesel obtenido de aceite residual de cocina». *Revista Colombiana de Biotecnología* 15(1):61-70.
- Pérez-Arquillué, C., T. Juan, N. Valero, G. Estopañan, A. Ariño, P. Conchello, y A. Herrera. 2003. «Study of the quality of virgin olive oil from Aragón (Spain)». *Grasas y Aceites* 54(2):151-60.
- Ramírez, Javier Ruiz, Manuel Lucas Miralles, Mónica Ballesta Galdeano, Clemente García Cutillas, Pedro Juan Martínez Beltrán, Antonio Sánchez Káiser, y Blas Zamora Parra. 2013. «Influencia de la composición de la materia prima sobre las propiedades finales del biodiésel». *VIII Congreso Nacional de Ingeniería Termodinámica. [Recurso electrónico]: libro de actas, 2013, ISBN 978-84-92681-62-4, págs. 1053-1060* 1053-60.
- Riesco, J., E. Flores, F. Elizalde, S. Martínez, y D. Malagon. 2017. «Evaluación del proceso de obtención de biodiesel a partir de aceites vegetales usados». *Memorias del XXIII Congreso Internacional Anual de la SOMIM* 144-51.
- Rodríguez, Jorge. 2011. «Análisis semicuantitativo del contenido de ésteres metílicos, de ácidos grasos, para la aplicación en el monitoreo del proceso de producción de biodiesel, por cromatografía de gases». 141.
- Sahar, Sana Sadaf, Javed Iqbal, Inam Ullah, Haq Nawaz Bhatti, Shazia Nouren, Habib-ur-Rehman, Jan Nisar, y Munawar Iqbal. 2018. «Biodiesel production from waste cooking oil: An efficient technique to convert waste into biodiesel». *Sustainable Cities and Society* 41(May):220-26.
- Sánchez Perona, Javier., Valentina Ruiz Gutiérrez, Universidad de Sevilla. Departamento de Ingeniería Química., Universidad de Sevilla.

- Vicerrectorado de Postgrado y Doctorado., y Universidad de Sevilla. Facultad de Química. 2001. «Influencia de dos aceites ricos en ácido oleico sobre el transporte e incorporación tisular de los triglicéridos.»
- Suzihaque, M. U. H., Nur Syazwina, Habsah Alwi, Umami Kalthum Ibrahim, Sureena Abdullah, y Normah Haron. 2022. «A sustainability study of the processing of kitchen waste as a potential source of biofuel: Biodiesel production from waste cooking oil (WCO)». *Materials Today: Proceedings* 63:S484-89.
- Tápanes, Rebeca Hernández, Goitybell Martínez Téllez, y Maritza F. Díaz Gómez. 2004. «Aspectos químico-físicos del aceite de girasol ozonizado». *Revista CENIC Ciencias Químicas* 35(3):159-62.
- Villadiego, Mauricio Medina. 2015. «Esterificación Y Transesterificación De Aceites Residuales Para Obtener Biodiesel». (40):25-34.
- Xing, Jia, Yang Zhang, Shuxiao Wang, Xiaohuan Liu, Shuhui Cheng, Qiang Zhang, Yaosheng Chen, David G. Streets, Carey Jang, Jiming Hao, y Wenxing Wang. 2011. «Modeling study on the air quality impacts from emission reductions and atypical meteorological conditions during the 2008 Beijing Olympics». *Atmospheric Environment* 45(10):1786-98.