

# Estudio de la obtención de biodiesel a partir de aceite comestible usado

## *Study for the Obtention of Biodiesel From Used Edible Oil*

Ing. Marilin García-Díaz, [mgarcia@quimica.cujae.edu.cu](mailto:mgarcia@quimica.cujae.edu.cu), MSc. José Gandón-Hernández,  
Ing. Yudisel Maqueira-Tamayo

Facultad de Ingeniería Química, ISPJAE, CUJAE, La Habana, Cuba

*Nuestro país actualmente no cuenta con una estrategia para utilizar racionalmente el volumen de aceite vegetal usado que se genera en la industria alimentaria y el sector turístico proveniente del proceso de fritura, es por eso que el presente trabajo tiene como objetivo estudiar la obtención del biodiesel a partir de aceites comestibles usados y metanol. Las cantidades de aceite y reactivos para que se desarrolle la reacción de transesterificación, mediante la cual se obtiene biodiésel y glicerina, se fijaron a partir de búsqueda bibliográfica. Se procedió a caracterizar el aceite empleado como materia prima. Posteriormente se llevó a cabo la fase experimental a nivel de laboratorio. Como resultado de los experimentos se obtuvo un 88,385 % de rendimiento, valor que se encuentra en el orden de los reportados en la bibliografía consultada. La técnica usada en el laboratorio se puede escalar a otros niveles.*

**Palabras clave:** aceites vegetales, transesterificación, biodiesel, aceite comestible.

*Our country currently lacks a strategy to rationally utilize the volume of waste vegetable oil generated in the food industry and the tourism sector from the frying process, which is why this paper aims to study the production of biodiesel from used edible oils and methanol. The quantity of oil and reagents for the development of the transesterification reaction, by which biodiesel and glycerin is obtained, starting from fixed literature search. Then we proceeded to characterize the oil used as feedstock and subsequently the experimental phase in the laboratory was carried out. As a result of the experiments 88,385 % yield, this value is in the order of those reported in the literature. The technique used in the laboratory can be scaled to other levels.*

**Key words:** vegetable oils, transesterification, biodiesel, used edible oils.

## Introducción

En la industria alimentaria y en el sector hotelero actualmente se generan grandes volúmenes de aceite vegetal usado debido a la gran demanda que han tenido los productos fritos, constituyendo un problema desde el punto de vista medio ambiental así como para la salud de los consumidores.

Desde hace años se sabe que el aceite no debe ser reutilizado en la elaboración de alimentos, al menos no con frecuencia, debido a que las altas temperaturas a que debe ser sometido para freír alimentos generan la liberación de agentes cancerígenos como el benzopireno, un elemento que también está presente en el humo del tabaco. Algunas de las dolencias más comunes del exceso de frituras tienen relación con el colon, problemas vasculares e incluso, un posible cáncer gástrico.

Esto se relaciona con los usos que se le da a este producto, que algunos, por las condiciones de trabajo y porque resulta muy caro, continúan utilizándolo indiscriminadamente. En otros casos, se vierte directamente a los suelos, ríos, mares, entre otros, lo que provoca afectaciones al ecosistema del lugar. 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 utilizarlo para la obtención de biocombustible.

Los biocombustibles buscan renovar el consumo de carburantes fósiles, debido a su bajo impacto ambiental. Uno de los más recientes que se puede citar es el biodiésel, el cual se utiliza como aditivo en motores de combustión interna en forma de mezcla que contenga el 20 % y el 50 % de biodiesel (B 20, B 50) o directo que contenga el 100 % de biodiesel (B 100), y presentado características óptimas /1/.

---

El biodiesel se obtiene a partir de aceites vegetales, el método más habitual es la transformación de estos aceites vegetales a través de un proceso de combinación con alcohol metílico e hidróxido de sodio (NaOH), conocido como reacción de transesterificación, produciéndose un compuesto que se puede utilizar directamente en un quemador o en un motor diesel sin modificar, obteniéndose glicerina como subproducto. La glicerina puede utilizarse en otras industrias como la farmacéutica, de detergentes, etcétera /2, 3/.

La utilización de este biocombustible resulta ventajosa desde el punto de vista energético, y mucho más recomendable desde el punto de vista medioambiental, por su menor nivel de emisión de gases nocivos, en particular el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que es el principal causante del efecto invernadero. El biodiésel es un producto biodegradable y su ciclo tiene además, un "efecto sumidero", es decir, la planta consume más CO<sub>2</sub> del que se emite en la combustión /4/.

La no utilización de productos agrícolas, con características alimentarias, para la producción de combustibles es un principio de la política estatal cubana; sin embargo en el caso de algunos desechos, su uso para la obtención de fuentes alternativas ha sido un tema frecuentemente estudiado.

Es por esto la necesidad de buscar combustibles renovables alternativos a los que se obtienen del petróleo, no solo por la limitación de este recurso, sino también por los problemas de contaminación ambiental creciente, y los biocombustibles son una opción válida. Por estas razones el objetivo de este trabajo es estudiar la obtención del biodiesel a partir de aceites comestibles usados y metanol.

## **Métodos utilizados y condiciones experimentales**

Para la obtención del biodiesel es necesario mezclar aceite vegetal, ya sea usado o no, con un alcohol en presencia de un catalizador. A este proceso se le denomina reacción de transesterificación. Luego que la reacción se haya completado y los nuevos productos hayan decantado se obtendrá biodiesel y glicerina. El

combustible es de color ámbar y fluye como agua y el jabón de color marrón, teniendo una consistencia gelatinosa queda en el fondo pudiendo ser retirado por bombeo, sifonado o drenado /5/.

En este caso se empleó aceite usado proveniente de una empresa de elaboración de alimentos, la cual tiene una planta de productos conformados en la que se pre-fríen productos empanados y sin empanar. Particularmente se utilizó aceite proveniente de la línea de productos empanados. Como alcohol se decidió utilizar el metanol y como catalizador el hidróxido de sodio, ya que estos son los reactivos que más se emplean en el mundo para la obtención de biodiesel a partir de aceites usados.

La cantidad de aceite y alcohol que se emplean se determinan por relaciones estequiométricas. En el caso del hidróxido de sodio cuando se trabaja con el aceite de cocina usado se debe poner más lejía que con el aceite nuevo, no para catalizar la reacción, sino para neutralizar los ácidos grasos libres que se forman en el aceite al cocinarlo. Cuanto más se haya calentado y más tiempo haya estado caliente, más ácidos grasos libres contendrá, y hará falta más lejía para neutralizarlos.

Si se coloca más lejía de la debida se forma más jabón, el biodiesel queda muy alcalino, es difícil lavarlo y se pierde producción; o si la proporción de jabón respecto al biodiesel es tal, que la mezcla se convierte en una pasta. Si no se pone suficiente lejía, una parte del aceite quedará sin reaccionar /6/.

Por esta razón es necesario determinar la cantidad necesaria de catalizador a emplear, lo cual garantiza la caracterización del aceite utilizado pues esto es un indicador de la acidez del producto. La cantidad de catalizador a emplear se determinó a través de valoraciones.

Luego se realizó una previa caracterización de la materia prima fundamental que es el aceite y posteriormente se desarrolló un diseño de experimentos para definir la cantidad de corridas experimentales que permiten la determinación del rendimiento del biodiesel obtenido a partir de aceite vegetal usado y metanol.

## Caracterización del aceite

La caracterización del aceite se realizó a partir de la determinación de pH, densidad aparente y viscosidad. Para realizar la determinación de pH se empleó un pH metro. La densidad aparente se determinó en el laboratorio a partir de conocer la diferencia de peso entre una probeta llena de aceite y una vacía y dividiéndola entre su peso como se muestra en la ecuación 1 /7/.

$$\rho = \frac{P_2 - P_1}{V_p}$$

donde:

ñ: densidad, (g/mL)

P<sub>1</sub>: probeta vacía, (g)

P<sub>2</sub>: probeta con la muestra, (g)

V<sub>p</sub>: volumen de la probeta, (mL)

Para determinar la viscosidad se utilizó un viscosímetro capilar del tipo Ubbelohde, del cual se obtiene la viscosidad cinemática expresada por la ecuación 2: /8/

$$\eta = c \cdot t$$

donde:

η: viscosidad cinemática, (mm<sup>2</sup>/s)

c: constante aproximada,

t: tiempo, (s)

Con esta viscosidad cinemática y la densidad del producto se obtiene la viscosidad dinámica (Pa.s) como se muestra en la ecuación 3.

$$\mu = \eta \cdot \rho \cdot 10^{-3}$$

donde:

μ: viscosidad dinámica (Pa.s)

Al biodiesel y la glicerina obtenidos de la reacción también se les determinó la viscosidad y la densidad.

## Diseño de experimento

En el rendimiento, conversión y cinética de la reacción de transesterificación influyen diferentes variables como son la calidad de la materia prima, el tipo y cantidad de catalizador, el tipo de alcohol, la relación molar alcohol/aceite y las condiciones de reacción como temperatura, presión y agitación /9/.

Debido a esto se decidió realizar un diseño de experimento factorial de 2<sup>k</sup> (donde k representa las variables o factores y 2 los niveles de estas) que permite determinar el número de corridas experimentales necesarias y analizar la influencia de varios factores o variables sobre el rendimiento de la reacción de transesterificación que es la variable dependiente que se ha designado. Los factores que se analizan en este estudio son la temperatura y la velocidad de agitación. Los niveles son 30°C, 50°C y 250 rpm, 500 rpm respectivamente. Para crear el diseño y el procesamiento de los resultados se empleó el programa computacional Statgraphics.

## Resultados y discusión

Se realizaron 4 valoraciones para verificar si existía una variación considerable en la cantidad de hidróxido de sodio a emplear. La tabla 1 muestra la cantidad de NaOH que se debe utilizar para la reacción de transesterificación.

Tabla 1  
Cantidad de NaOH que se requiere para la materia prima empleada

Valoraciones	Cantidad de NaOH (g/mL de aceite)
1	3,93
2	3,79
3	3,61
4	3,61
Promedio de la cantidad de NaOH 3,8 g/mL de aceite	

## Caracterización de las materias primas y productos finales

La prueba de pH se le realizó a la muestra de aceite resultando ser 6,2, por lo que se considera que el producto no está ácido. En las tablas 2 y 3 se reflejan los resultados de la densidad y la viscosidad respectivamente obtenidas para cada una de las muestras.

Tabla 2  
Densidades de las muestras

Muestra	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Referenciadas (kg/m <sup>3</sup> )
Aceite	910,2	912*
Biodiesel	883	880*
Glicerina	1016,2	1 026**

Tabla 3  
Viscosidades de las muestras

Muestra	Viscosidad cinemática (n) (mm <sup>2</sup> /s)	Viscosidad dinámica (μ) (Pa.s)	Referenciadas (Pa.s)
Aceite	43,36	0,028	0,391**
Glicerina	46,26	0,047	0,05***

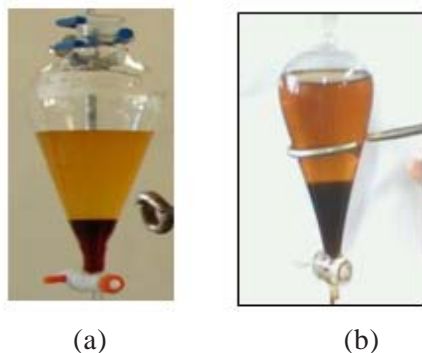
Se puede decir que estas densidades y viscosidades están en correspondencia con las referenciadas en la literatura /10-12/. La viscosidad del biodiesel no se pudo obtener pues no cumplía con las especificaciones del viscosímetro empleado.

En el diseño de experimentos con vistas a aumentar los grados de libertad se decidió realizar una replica en el punto central y una repetición por lo se realizaron 10 experimentos cuyos resultados fueron procesados en el Statgraphics en una matriz ortogonal como se muestra en la figura 1 a partir de valores codificados.

BLOCK	Temperatura	Velocidad	de	Rendimiento
1	-1	-1		83,33
1	1	-1		87,66
1	0	0		84,66
1	-1	1		83,3
1	1	1		84,33
2	-1	-1		80
2	1	-1		83,33
2	0	0		81,66
2	-1	1		84
2	1	1		83,33

Fig. 1 Matriz ortogonal para un diseño factorial 2<sup>2</sup>.

Como se puede observar en la figura 2 el biodiesel obtenido a nivel de laboratorio en este trabajo tiene características similares a los reportados en la literatura. En la parte superior se observa el biodiesel de color marrón y en la parte inferior la glicerina que es más oscura, hay que tener en cuenta que el aceite empleado no es el mismo por lo que el nivel de oxidación puede influir en estos resultados.



**Fig. 2** Imágenes de la separación del biodiesel y la glicerina obtenidos a partir de aceites usados (a) según referencia /13/ y (b) nivel de laboratorio.

Los resultados del procesamiento estadístico se analizan a partir de las pruebas de calidad de ajuste de la regresión. La primera que es el nivel de confiabilidad,  $R^2$  es de 75,78 %. Para la bondad de ajuste del modelo se realiza la prueba "F" donde se debe cumplir que el valor sea menor que el nivel de confiabilidad (0,05), para la cual ninguno de los coeficientes cumple estas condiciones. La última prueba es la del análisis de los residuos donde hay que verificar que los errores son independientes. A través de la prueba de Durbin-Watson se comprueba que éste está cercano a 2 a partir de que se cumpla que el valor  $p$  sea mayor el nivel de confiabilidad. En este caso se cumple esta condición. Como estas pruebas son excluyentes al no cumplirse una de estas se concluye que el modelo no es satisfactorio.

## Conclusiones

1 El biodiésel y la glicerina que se obtienen poseen características similares a los reportados en la literatura aunque se debe definir el número de veces que se ha utilizado la materia prima (aceite) pues solo así se podrán comparar adecuadamente los resultados.

2 A pesar de que se obtienen rendimientos superiores al 80 % los resultados demuestran que los niveles de las variables independientes y/o las variables no son significativos para la variable dependiente fijada. Por esto se propone mejorar el diseño de experimento con vistas a obtener un modelo que describa el comportamiento de la reacción.

## Bibliografía

1. "Biocombustibles", *Wikipedia*, en <http://es.wikipedia.org/wiki/Biocombustibles> (08/02/2012)
2. DEUDOR Malpazo, Yhon y colaboradores: "Empleo de biocombustible como fuente de energía calorífica en el ecuador", en <http://www.unmsm.edu.pe/cedit/linked/empleo%20de%20biocombustibles%20en%20el%20peru.pdf> (25/09/12).
3. "Procesos para Aceites Vegetales", en [www.engormix.com](http://www.engormix.com) (01/01/12).
4. "Los aceites de cocina no generan más emisiones de CO<sub>2</sub> que los aceites puros para la producción de biodiesel", en [www.laflecha.net/canales/ciencia/noticias/los-aceites-de-cocina-no-generan-mas-emisiones-de-co2-que-los-aceites-puros-para-la-produccion-de-biodiesel](http://www.laflecha.net/canales/ciencia/noticias/los-aceites-de-cocina-no-generan-mas-emisiones-de-co2-que-los-aceites-puros-para-la-produccion-de-biodiesel) (03/02/2012).
5. "Combustible para motores diesel a partir del aceite vegetal, información general". en [www.energianatural.com.ar/biodiesel02.html](http://www.energianatural.com.ar/biodiesel02.html) (15/12/2012).
6. "Fenolftaleína", en [www.es.jorneytoforever.org/biocombustibles/como-hecer-biodiesel-2](http://www.es.jorneytoforever.org/biocombustibles/como-hecer-biodiesel-2) (14/3/2012).
7. GARCEL P, Leonel: *Transferencia de Cantidad de Movimiento, Calor y Masa*. Segunda Edición. Editorial Félix Varela, La Habana, Cuba, 2011.
8. *Norma cubana para determinar la viscosidad*. Viscosímetros Capilares. NC: 90-13-16/1981. Comité estatal de normalización. Nivel Central. Municipio Habana Vieja.
9. BENJUMEAH, Pedro; N. AGUDELOS, John R.; JAIME CANO, Gabriel: "Estudio experimental de las variables que afectan la reacción de transesterificación del aceite crudo de palma para la producción de biodiesel", en *Scientia et Technica*, Año X, No 24.
10. "Así hace Biodiésel en su casa", <http://www.atinabiotec.cl/content/view/212/Asi-hace-Biodiesel-ensucasa.html> (7/02/2012).
11. "Densidad y Viscosidad. Dinámica de Biodiesel de Aceite Vegetal", en [www.imiq.com.mx/convencion/web/SESIONES/VM-3-3.pdf](http://www.imiq.com.mx/convencion/web/SESIONES/VM-3-3.pdf) (12/03/12).
12. "Viscosidad y densidad de la glicerina", en [www.buenastareas.com/materias/...y-densidad-de-la-glicerina/](http://www.buenastareas.com/materias/...y-densidad-de-la-glicerina/) (08/06/12).
13. "Biodiesel y glicerina/aceites usados", en <http://www.revistauniversa.com/articulo/obtencion-de-biodiesel-a-partir-de-aceite-residual-domestico/&sg> (10/09/2012).