

## Caracterización fisicoquímica del aceite de soya gastado para producir biodiesel

### Physicochemical characterization of waste soybean oil to produce biodiesel

Isaí Vázquez-Garrido<sup>\*a</sup>, Alfredo Guevara-Lara<sup>b</sup>, Acela López-Benítez<sup>c</sup>, Juan F. Flores-Aguilar<sup>d</sup>

---

#### Abstract:

Biodiesel is generally obtained by transesterification of triglycerides present in vegetable oils with methanol, and a homogeneous catalyst to form biodiesel. However, waste oils from the food industry cannot be processed to produce biodiesel by transesterification efficiently. The reason why spent oils cannot be easily transformed into biodiesel is related to the physical and chemical changes in the oil that take place during the cooking or frying of foods. In this work, the physicochemical properties of new and waste soybean oils were determined to determine the probable causes for which transesterification does not occur with the spent oil. Density, peroxide value, acid value and fatty acid profile were determined in order to compare the properties of new and waste oils. From these results, it can be concluded that waste soybean oil cannot be converted in biodiesel due to its higher acidity, lower peroxide value, and higher moisture and volatile matter content. Therefore, the use of other catalysts or the implementation of new processes for the production of biodiesel from spent vegetable oil is recommended.

#### Keywords:

Biodiesel, transesterification, vegetable oil, gas chromatography

---

#### Resumen:

El biodiésel generalmente se obtiene por transesterificación de los triglicéridos presentes en los aceites vegetales con metanol y un catalizador homogéneo para formar biodiésel. Sin embargo, los aceites residuales de la industria alimentaria no pueden procesarse para producir biodiésel por transesterificación eficientemente. La causa de que los aceites gastados no puedan ser transformados fácilmente en biodiésel está relacionada con los cambios físicos y químicos del aceite que se llevan a cabo durante la cocción o fritura de los alimentos. En este trabajo se determinaron las propiedades fisicoquímicas de los aceites nuevo y gastado de soya para conocer las causas probables por las cuales no ocurre la transesterificación con el aceite gastado. La densidad, el índice de peróxido, el valor ácido y el perfil de ácidos grasos se determinaron para poder comparar las propiedades de los aceites nuevo y gastado. A partir de estos resultados, se puede concluir que el aceite de soya gastado no se puede transformar en biodiésel debido a que presenta una mayor acidez, un menor índice de peróxido y un mayor contenido de humedad y materia volátil. Por lo tanto, es recomendable el uso de otros catalizadores o la implementación de nuevos procesos para la producción de biodiésel a partir de aceite vegetal gastado.

#### Palabras Clave:

Biodiésel, transesterificación, aceite vegetal, gastado, cromatografía

---

### Introducción

El biodiesel generalmente se obtiene por transesterificación de los triglicéridos presentes en los aceites vegetales con metanol y un catalizador homogéneo (principalmente KOH) para formar biodiesel, glicerol y alcohol. Las materias primas utilizadas principalmente para la fabricación de biodiesel son aceites vegetales refinados de maíz, colza, soya, girasol o palma.

No obstante, el uso de aceites comestibles vegetales refinados está limitado, ya que principalmente su fabricación está destinada para el consumo humano. Para solucionar este problema, se ha estudiado el uso de los aceites residuales de la industria alimentaria. Sin embargo, los aceites residuales de la industria alimentaria, difícilmente pueden procesarse por transesterificación [1-3]. La causa de que los aceites gastados no puedan ser transformados fácilmente en biodiesel puede estar

---

<sup>a</sup>Autor de Correspondencia, Universidad Xicotepetl A.C., México, <https://orcid.org/-0000-0003-0175-0260>, Email: [ivazquez@uxac.edu.mx](mailto:ivazquez@uxac.edu.mx)

<sup>b</sup> Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México, <https://orcid.org/-0000-0002-5658-9884>, Email: [guevaraa@uaeh.edu.mx](mailto:guevaraa@uaeh.edu.mx)

<sup>c</sup> Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México, <https://orcid.org/-0000-0002-1535-8115>, Email: [albenitez2011@hotmail.com](mailto:albenitez2011@hotmail.com)

<sup>d</sup> Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México, <https://orcid.org/-0000-0002-4515-8093>, Email: [juan\\_flores@uaeh.edu.mx](mailto:juan_flores@uaeh.edu.mx)

relacionada con los cambios físicos y químicos que se llevan a cabo durante la cocción o fritura de los alimentos [4]. Durante la fritura los ácidos grasos presentes en el aceite pueden ser oxidados por un proceso denominado rancidez oxidativa. En este proceso, un hidrógeno unido a un carbono sp<sup>2</sup> de los ácidos grasos insaturados, es extraído para formar un radical libre. El radical libre desencadena una serie de reacciones autocatalíticas, que generan principalmente peróxidos. Posteriormente, ocurren otras reacciones, que dan lugar a productos volátiles como aldehídos y cetonas [5]. Estos compuestos podrían estar relacionados con la baja eficiencia de la transesterificación de aceites gastados de la industria alimentaria. Por tal motivo, en este trabajo se determinaron las propiedades fisicoquímicas de los aceites de soya para observar las diferencias entre el aceite nuevo y el gastado, y conocer las causas probables por las cuales no ocurre la transesterificación con el aceite gastado.

### Materiales y Métodos

#### a) Densidad.

La densidad de los aceites se midió a 25°C por el método del picnómetro, de acuerdo a la norma NMX-F-075-1987 [6]. El picnómetro con un volumen de 25 cm<sup>3</sup> se llenó con la muestra de aceite evitando la formación de burbujas y se enrazó la rama del capilar. La densidad se determinó con la ecuación:

$$\text{densidad} = \frac{m_1 - m_2}{V}$$

Donde  $m_1$  es la masa del picnómetro enrazado con aceite,  $m_2$  es la masa del picnómetro vacío y  $V$  es el volumen del picnómetro.

#### b) Humedad y materia volátil

La medición de la humedad y materia volátil se realizó de acuerdo a la metodología establecida por la norma NMX-F-211-1987 [7]. En un vaso de precipitado se pesaron 20 g de una muestra de aceite y se calentó a una temperatura de 120 °C hasta la desaparición de vapor y de burbujas en la muestra. Finalmente, se enfrió la muestra a temperatura ambiente y se pesó para determinar la humedad y materia volátil de acuerdo a la ecuación:

$$\%HMV = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

Donde  $m_1$  es la masa de la muestra y  $m_2$  es la masa de la muestra sin humedad y materia volátil.

#### c) Índice de peróxido

5.0 g de aceite se añadieron en un matraz Erlenmeyer con 10 mL de diclorometano y 15 mL de ácido acético glacial para determinar el índice de peróxidos. Posteriormente, se adicionó 1 mL de KI 1 mol/L y se dejó reposar 1 minuto. Se colocó la muestra en un recipiente con agua hirviendo durante 1 minuto más. Después, se agregaron 10 mL de agua hirviendo y se realizó la valoración con Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.0097 mol/L (previamente estandarizado con KIO<sub>3</sub> 0.0017 mol/L) con una solución de almidón como indicador. El índice de peróxido se expresó en

miliequivalentes por kilogramo de muestra de acuerdo a la ecuación:

$$\text{Índice de peróxidos} = \frac{1}{2} \times \frac{(V_{Na_2S_2O_3} - V_0) C}{m_{aceite}}$$

Donde  $V_{Na_2S_2O_3}$  es el volumen gastado de Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,  $V_0$  es el volumen del blanco,  $C$  es la concentración en mol/L del Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y  $m_{aceite}$  es la masa del aceite en kilogramos.

#### d) Valor ácido y porcentaje de ácido oleico

Una solución de etanol al 95% v/v se neutralizó previamente con una solución de KOH 0.1 mol/L. Después, se añadieron 5 gramos de aceite en un matraz y se adicionaron 20 mL de la solución de etanol y dos gotas de fenoltaleína. Finalmente, se valoraron las muestras con una solución de KOH 0.094 mol/L (estandarizada con ftalato ácido de potasio 0.05 mol/L) hasta observar el cambio de color del indicador. La acidez se reportó como porcentaje de ácido oleico con la ecuación 4:

$$\text{acidez (ácido oléico)} = \frac{Meq_{ácido\ oleico} C V}{m_{aceite}} \times 100$$

Donde  $C$  es la concentración de la solución de KOH en mol/L,  $V$  es el volumen gastado y  $Meq_{ácido\ oleico}$  son los miliequivalentes del ácido oleico (0.282 g).

#### e) Perfil de ácidos grasos

Las muestras de aceite nuevo y gastado se derivatizaron añadiendo a una ampolleta 0.25 mL de aceite, 0.25 mL de trifluoruro de boro en metanol (Fluka, 1.3 M) y 0.5 mL de una solución de NaOH 1 mol/L. La ampolleta se cerró y se calentó a baño de agua durante 10 minutos. Finalmente se realizaron dos extracciones consecutivas con 0.5 mL de hexano. El extracto obtenido se aforó a 2 mL con hexano con una concentración final de 320 ppm de n-hexadecano como estándar interno. 1 µL del extracto se inyectó en un cromatógrafo de gases Perkin Elmer AutoSystem con un detector de ionización en flama (FID) y una columna HP-Ultra 2 (30 m x 0.332 mm i.d.). El porcentaje de cada componente se obtuvo de acuerdo a las ecuaciones:

$$f_i = \frac{A_i}{\sum A_i}$$

$$\% \text{ácido graso (m/m)} = f_i \times 100$$

Donde  $A_i$  es el área del pico correspondiente a un ácido grasos,  $\sum A_i$  es la suma de las áreas de todos los picos de ácidos grasos y  $f_i$  es la fracción del ácido graso del total de ácidos grasos.

### Resultados y discusiones

Como se observa en la Tabla 1, las densidades de ambos aceites no muestran una diferencia significativa. Sin embargo, el contenido de humedad y materia volátil es mayor en el aceite gastado que en el aceite nuevo. Por otro lado, el aceite nuevo tiene un porcentaje de acidez de 0.56%. Sin embargo, el aceite gastado contiene un porcentaje de acidez de 1.33 %. Además, el aceite

gastado contiene un menor índice de peróxidos que el aceite nuevo.

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas de los aceites nuevo y gastado determinadas por los métodos estándar.

Propiedad	Aceite nuevo <sup>a</sup>	Aceite gastado <sup>a</sup>
Densidad a 25°C (g/mL)	0.910±0.04	0.915±0.05
Humedad y materia volátil (%)	0.15±0.02	0.32±0.04
Índice de peróxidos (meq/kg)	43.50±0.78	18±1.32
Acidez (% de ácido oleico)	0.56±0.03	1.33±0.08

<sup>a</sup>(±desviación estándar, n=3).

Esto puede estar relacionado con su elevado contenido de humedad y materia volátil. El bajo contenido de peróxidos puede ser causado por la formación de productos secundarios de reacción, donde los peróxidos han sido transformados a materia volátil [4,8]. La descomposición de los peróxidos ocurre debido a una exposición prolongada del aceite a temperaturas mayores a 180°C [8]. El porcentaje de acidez, se relaciona con la cantidad de ácidos grasos libres en el aceite [2, 4, 8]. El aceite gastado muestra una mayor cantidad de ácidos grasos libres causada por la rancidez hidrolítica del aceite durante el proceso de cocción de los alimentos [8]. Los ácidos grasos libres producidos pueden reaccionar con el KOH (catalizador) en las reacciones de transesterificación y reducir la eficiencia del proceso.

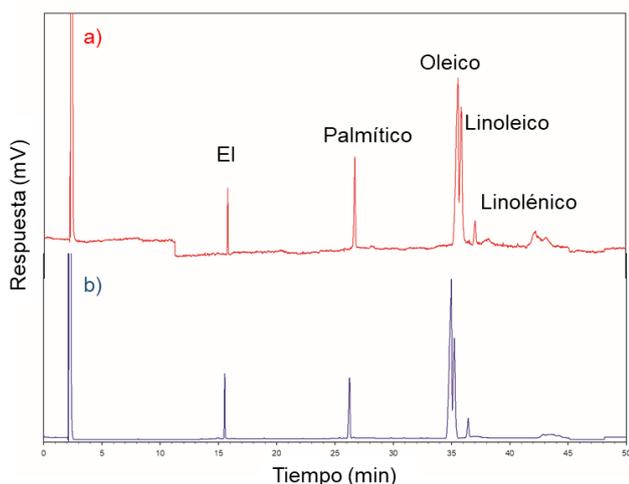


Figura 1. Cromatogramas de los metilésteres obtenidos por la derivatización de aceites de soya. a) aceite nuevo b) aceite gastado.

Por otro lado, a la composición de ácidos grasos, las muestras previamente derivatizadas de los aceites nuevo y gastado se analizaron por cromatógrafo de gases. En la Figura 1 se muestran los cromatogramas de los aceites nuevo y gastado, donde es posible observar la elución de los metilésteres de los ácidos grasos presentes en los aceites. El solvente es el primer compuesto en ser eludido a un tiempo de 2.2 minutos, seguido por el estándar interno a 15.8 minutos. Finalmente, se observan la elución de los metilésteres de los ácidos grasos palmítico, oleico, linoleico y linolénico a 26.2, 34.8, 35.2 y 37.5 minutos, respectivamente. En los cromatogramas se observa que la intensidad del estándar interno es similar, sin embargo las intensidades de los metilésteres de los ácidos grasos es diferente para el aceite nuevo y gastado.

Finalmente, respecto a las concentraciones y porcentajes de ácidos grasos presentes en los aceites se muestran en la Tabla 2, donde es posible observar que el aceite gastado posee una mayor cantidad de ácido palmítico, ácido linoleico y ácido linolénico que el aceite nuevo. Probablemente, una cantidad mayor de ácido palmítico y de ácidos grasos poliinsaturados como el linoleico y el linolénico pueden disminuir la eficiencia del proceso de transesterificación. Además, el aceite nuevo presenta una mayor cantidad de ácido oleico.

Tabla 2. Porcentaje y concentración de ácidos grasos presentes en el aceite de soya

Ácido graso	% de ácido graso (p/p)	
	Aceite nuevo	Aceite gastado
Palmítico (C16:0)	10.1	14.5
Oleico(C18:1)	58.5	47.7
Linoleico(C18:2)	23.2	28.4
Linolénico(C18:3)	6.1	8.2
>C18	2.2	1.2

En estos resultados también se puede observar que el contenido de ácido oleico es mayor que el de otros ácidos grasos para ambos aceites. El elevado contenido de ácido oleico podría mejorar la calidad del biodiesel obtenido, ya que favorece la estabilidad al contener una concentración menor de ácidos grasos poliinsaturados.

### Conclusiones

El aceite gastado presenta un menor índice peróxidos que el aceite nuevo debido a la formación de la materia volátil durante el procesamiento de los alimentos a altas temperaturas. Además, se concluye que el aceite de soya gastado no se transesterifica por el método convencional debido a que presenta una mayor cantidad de materia volátil y un mayor contenido de acidez. Por lo tanto, es recomendable el uso de otros catalizadores o la implementación de nuevos procesos para la producción de biodiesel a partir de aceite vegetal gastado.

## **Referencias**

- [1] Demirbas, A. Political, economic and environmental impacts of biofuels: A review. *Applied energy*, 2009; 86: S108-S117.
- [2] Ma, F., Hanna, M. A. Biodiesel production: a review. *Bioresource technology*, 1999; 70(1): 1-15.
- [3] Girard, P., Fallot, A. Review of existing and emerging technologies for the production of biofuels in developing countries. *Energy for sustainable development*, 2006; 10(2): 92-108.
- [4] Vázquez-Garrido, I., López-Benítez, A., Guevara-Lara, A., Berhault, G. Synthesis of NiMo catalysts supported on Mn-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> for obtaining green diesel from waste soybean oil. *Catalysis Today*, 2021;365: 327-340.
- [5] Reische, D. W., Lillard, D. A., Eitenmiller, R. R., Akoh, C. C., & Min, D. B. *Food lipids: chemistry, nutrition, and biotechnology*, 2008.
- [6] Norma Mexicana NMX-F-075-1987
- [7] Norma Mexicana NMX-F-211-1987
- [8] Chatzilazarou, A., Gortzi, O., Lalas, S., Zoidis, E., & Tsaknis, J. Physicochemical changes of olive oil and selected vegetable oils during frying. *Journal of Food Lipids*, 2006; 13(1): 27-35.