

# Obtención y caracterización de biodiesel a partir de aceite vegetal reciclado

**Lesli del Carmen Balderas Torres, Rodolfo Morales Ibarra, Cinthya Soreli Castro Issasi, Saida Mayela García Montes**

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica  
San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México

lesli.balderasts@uanl.edu.mx, rodolfo.moralesbr@uanl.edu.mx, cynthia.castrois@uanl.edu.mx,  
Autor de Correspondencia: saida.garciamts@uanl.edu.mx

## RESUMEN

*Para mitigar el cambio climático es necesario que se desarrollen alternativas energéticas sostenibles, específicamente aquellas que presenten una reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero; los biocombustibles son en general una opción viable y factible, puesto que pueden ser obtenidos por métodos amigables con el medio ambiente y reduciendo la cantidad de gases de efecto invernadero en su producción comparado con los combustibles fósiles. En la presente investigación se desarrolló un protocolo experimental y exploratorio para la obtención de biodiesel a partir de aceite vegetal comestible reciclado después de ciclo de vida, lo que representa una doble ventaja ya que se evita la contaminación de tierras y aguas, así como la gestión y gastos asociados a la recolección y confinamiento a la vez que se revalorizan estos desechos obteniendo un producto sumamente valioso. El biodiesel obtenido fue caracterizado de manera fisicoquímica por diversos métodos estándar ASTM aplicables a combustibles. Los resultados indican que el biodiesel y la mezcla de biodiesel con combustibles son una gran alternativa para la obtención de energía sostenible.*

## PALABRAS CLAVE

Biodiesel, cambio climático, gases efecto invernadero, reciclaje.

## ABSTRACT

*In order to mitigate the climate change is necessary to develop alternative sustainable sources of energy, namely, those that offer a significative reduction in emissions of greenhouse gases; biofuels in general are a viable and feasible alternative, mainly because they can be synthesized through ecofriendly processes while reducing the greenhouse gas emissions of their production as compared to fossil fuels. In this research, an experimental-exploratory protocol for the synthesis of biodiesel using as raw materials the used-cooking oil has been developed, this represents a double positive advantage since it avoids the contamination of soil and water, as well as the waste management related to collection and confinement (as well as associated costs) of used cooking oil, while revalorizing this waste into a valuable product. The obtained biodiesel has been physical-chemically characterized through standard ASTM methods applicable to fuels. Results indicate that obtained biodiesel and the mixture of biodiesel with fuels are a great alternative for the obtention of sustainable energy.*

## KEYWORDS

Biodiesel, climate change, greenhouse gases, recycling.

## INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas que combate la humanidad es el cambio climático, y uno de los principales causantes es la quema de combustibles fósiles, los cuales representan el 80% de la energía

mundial y en general por actividades antrópicas.<sup>1</sup> Una pobre reducción de emisiones de gases de efecto invernadero empeoran aún más la problemática,<sup>2</sup> incrementando la captura de calor generado por la extracción y combustión de combustibles fósiles como el carbón y el gas natural.<sup>3</sup> Una mayor parte del calor que recibe la Tierra del Sol no es disipada fuera del planeta lo cual provoca el aumento de la temperatura global.<sup>4</sup> El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), evaluó que cada año, México representa aproximadamente el 1.45% de las emisiones globales de carbono en nuestro planeta.<sup>5</sup> El renunciar al uso del petróleo, carbón y gas natural, además de ser necesario debido a su limitada cantidad, es un camino para contrarrestar el calentamiento global.

Para contribuir en la solución de estos fenómenos se ha planteado el uso de biocombustibles como opción para controlar los desequilibrios causados por el alto consumo de combustibles fósiles. Los biocombustibles provienen de sustancias orgánicas y son unas de las principales soluciones para disminuir las emisiones de dióxido de carbono emitidas por el sector automotriz de un modo rápido y eficiente en los próximos años<sup>6</sup> ya que, al ser usado, cualquier medio de transporte que requiera combustible pasaría a ser un transporte ecológico, con una menor huella de carbono comparada con el uso de gasolina o diésel. Los biocombustibles son derivados de materiales biológicos y se obtienen a partir de residuos orgánicos, como la biomasa.<sup>6</sup> El biodiesel es un combustible comercial de baja intensidad de carbono para motores diésel, pero también puede ser utilizado en calderas y sistemas de calefacción doméstica.<sup>7</sup> El biodiesel es un tipo de combustible similar al diésel derivado de petróleo, hoy pero su producción se basa en materia orgánica, principalmente aceites vegetales o grasas animales. Esto lo convierte en un combustible natural, renovable y limpio.<sup>8</sup> La adopción del biodiesel podría centrarse en las materias primas empleadas en su producción.

El dióxido de carbono liberado durante el uso de biocombustibles equivale a la cantidad previamente absorbida de la atmósfera por la materia prima empleada en su producción. Por lo tanto, estos biocombustibles se consideran una solución eficaz para reducir las emisiones de efecto invernadero, ya que en general son combustibles con emisiones netas cercanas a cero.<sup>9</sup> El biodiesel carece de compuestos de nitrógeno y azufre. Las partículas contaminantes son reducidas hasta un 65% con el uso del biodiesel, al mismo tiempo minorar el riesgo de cáncer en la población hasta un 94%, esto reportado según el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE). De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), la combustión del biodiesel disminuye un 50% los hidrocarburos no quemados, los cuales son una causa importante de la degradación de la capa de ozono, la formación de smog y el riesgo de cáncer.<sup>10</sup>

Los biocombustibles poseen propiedades y características que compiten con los combustibles usualmente utilizados, posicionándose como una posible alternativa para contrarrestar las inminentes consecuencias de la contaminación. Esta investigación presenta un diseño del proceso de fabricación de biodiesel a partir de aceite vegetal comestible reciclado (recuperado después de su ciclo de vida y uso industrial). La obtención de este biocombustible se implementa mediante una reacción química llamada esterificación o por medio de otro proceso conocido como transesterificación.<sup>4,11</sup> La esterificación implica la creación de un éster mediante una reacción entre ácidos carboxílicos y alcoholos utilizando como catalizadores ácidos fuertes. Por otro lado, la transesterificación es un proceso más simple y amigable con el medio ambiente. En este proceso, se intercambia el grupo alcoxi de un éster por otro alcohol, convirtiendo así aceites y grasas en ésteres monoalquílicos de cadena larga, es decir, biodiesel. En el momento en que se emplea metanol en la reacción de transesterificación los ésteres son nombrados comúnmente ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME). El proceso de conversión de aceites, grasas y aceites en biodiesel mediante transesterificación garantiza la disminución de la viscosidad a porcentajes más similares a los del gasóleo convencional.<sup>7</sup>

El presente trabajo explora de manera experimental y exploratoria la obtención de Biodiesel a partir de aceite vegetal reciclado de cocina y lleva a cabo una serie de análisis fisicoquímicos para evaluar la calidad del hidrocarburo obtenido.

## EXPERIMENTAL

El desarrollo exploratorio desarrollado comienza con la recolección del aceite vegetal de cocina ya utilizado el cual será la materia prima experimental de este estudio; dicho aceite forma parte de los desechos de cocina de una cafetería estudiantil de la Universidad Autónoma de Nuevo León; para ello se recolectaron un par de litros de aceite ya quemado; interesantemente al charlar con el encargado de la cafetería nos comenta que ellos normalmente deben pagar por gestión de residuos del aceite quemado a una compañía que realiza la recolección y confinamiento. El proceso se muestra en sus generalidades en la figura. 1. Una vez obtenido se llevó a cabo la caracterización estandarizada para obtener los valores de densidad (ASTM D-70), contenido de azufre (ASTM D-129), punto de inflamación (*flash point*) (ASTM D-93), humedad (ASTM D-1796), índice de cetano (ASTM D-4737), poder calorífico (ASTM D-240) y perfil de destilación (ASTM D-86).

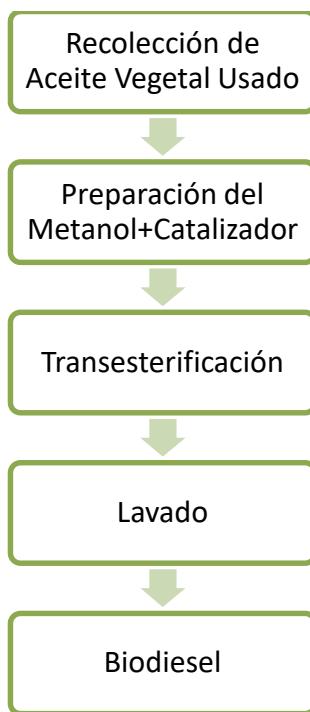


Fig 1. -Diagrama del proceso de elaboración de biodiesel.

Posterior a la recolección del aceite vegetal usado, se lleva a cabo la preparación del catalizador. El catalizador usado fue el NaOH. Dicho catalizador es básico, homogéneo, y proporciona altas velocidades de reacción, sin embargo, tiende a ser más costoso al separarlo pues necesita proporciones del 1%-6% para un buen rendimiento.

Seguido, se lleva a cabo la reacción de transesterificación que consiste en la reacción de un triéster de glicerilo (triglicérido) con un alcohol para formar alquil de ésteres y glicerol. Dado que la reacción es reversible, se usa alcohol en exceso para tener un equilibrio hacia el lado de los productos. Debido a su composición química (cadena corta), los alcoholes mayormente utilizados son el metanol y etanol, aunque de ellos destaca el metanol por reaccionar rápidamente con los triglicéridos. En el proceso de transesterificación la ruptura de los triglicéridos requiere de tres pasos: primero, la formación de un intermediario tetraédrico; seguido de la descomposición del intermediario formando un ion diacilglicérido y el éster alquílico del ácido graso; para terminar con la recuperación del catalizador por transferencia de un protón. Este proceso se repite hasta obtener los tres ésteres de ácidos grasos junto con la glicerina.

Para el proceso, se utilizaron 40 ml de aceite vegetal en un matraz Erlenmeyer para calentarlo hasta 60°C a 250 rpm, esto se realizó hasta conseguir la temperatura deseada. Al mismo tiempo, se preparó una solución de 0.42g de NaOH (correspondiente al 1.1% m/m), y 9.06g de MeOH (de acuerdo con la relación 6:1 molar). Una vez que los residuos alcanzaron los 60°C, se vierte la solución, debido a esto se tiene un descenso en temperatura por lo que la nueva solución vuelve a ser calentada hasta los 60°C esto durante 10 min. De esto se obtuvieron 69.04g de biodiesel y glicerina. Una vez enfriado se decantó el producto, con el fin de separar ambas fases.

En la figura 2. se observa el biodiesel obtenido una vez realizada la decantación el cual fue de 57.2g. Para el lavado se utilizó una relación biodiesel-agua destilada de 2:1 en volumen, se calentó el biodiesel hasta 60°C con una agitación de 250 rpm constantes, se calienta el agua destilada hasta 40°C una vez esto, se vierten, se procura mantener el sistema por los 60°Csin exceder los 65°C, durante 15 min, finalmente se drena el agua destilada. Después del proceso de purificación se siguieron obteniendo entre 64 a 69 ml de biodiesel.



Fig. 2. Biodiesel obtenido.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez obtenido el biodiesel, se realizaron pruebas estándar ASTM-D pertinentes para la caracterización de hidrocarburos. Por interés particular del equipo de investigación, se realizaron mezclas de hidrocarburos para ser evaluadas; particularmente se realizaron y analizaron dos mezclas, una de 100% turbosina y una de 50%/50% biodiesel experimental obtenido más turbosina. Los resultados son presentados en las tablas I y II.

Tabla I. Características de la turbosina y la mezcla 50/50 biodiesel-turbosina.

CARACTERÍSTICA	VALOR OBTENIDO		MÉTODO
	100% Turbosina	50%/50% Biodiesel-turbosina	
DENSIDAD 15°C (g/ml)	0.8017	0.8421	ASTM D-70
AZUFRE (%P, S)	<0.005	<0.005	ASTM D-129
FLASH POINT (°C)	54	61	ASTM D-93
HUMEDAD (%V)	<0.1	<0.1	ASTM D-1796
ÍNDICE DE CETANO	43	43	ASTM D-4737
PODER CALORÍFICO (kcal/kg)	10,822	9,969	ASTM D-240
PODER CALORÍFICO (BTU/Lb)	19,480	17,944	ASTM D-240

De los resultados obtenidos y presentados en la tabla I queda claro que al comparar los valores de la turbosina con nuestra mezcla experimental 50%/50% biodiesel+turbosina, los resultados de la Turbosina son en general mejores respecto a sus capacidades físico-químicas; sin embargo cabe resaltar que nuestro biodiesel agrega una gran cantidad de valor puesto que las diferencias son mínimas o incluso son indistinguibles, por ejemplo: la densidad cambia solamente un poco, mientras que el contenido de azufre no percibe un cambio así como el porcentaje de humedad; el índice de cetano que es un indicador clave de la calidad de un combustible no sufre ningún cambio, resultando en un valor completamente equitativo y en el poder calorífico se observa una disminución de solamente un ocho por ciento.

En la tabla II se muestran los resultados del perfil de destilación, mismos que también se encuentran representados gráficamente en la figura 3.

Tabla II. Perfil de destilación de la turbosina y la mezcla 50/50 biodiesel-turbosina.

PERFIL DE DESTILACIÓN MÉTODO ASTM D-86			
Turbosina		50/50 Biodiesel-Turbosina	
%V	°C	%V	°C
INICIAL	173	INICIAL	169
10	183	10	194
20	192	20	209
30	199	30	228
40	205	40	247
50	211	50	278
60	217	60	324
70	229	70	337
80	234	80	340
90	277	90	343
FINAL (99%V)	280	FINAL (97%V)	393

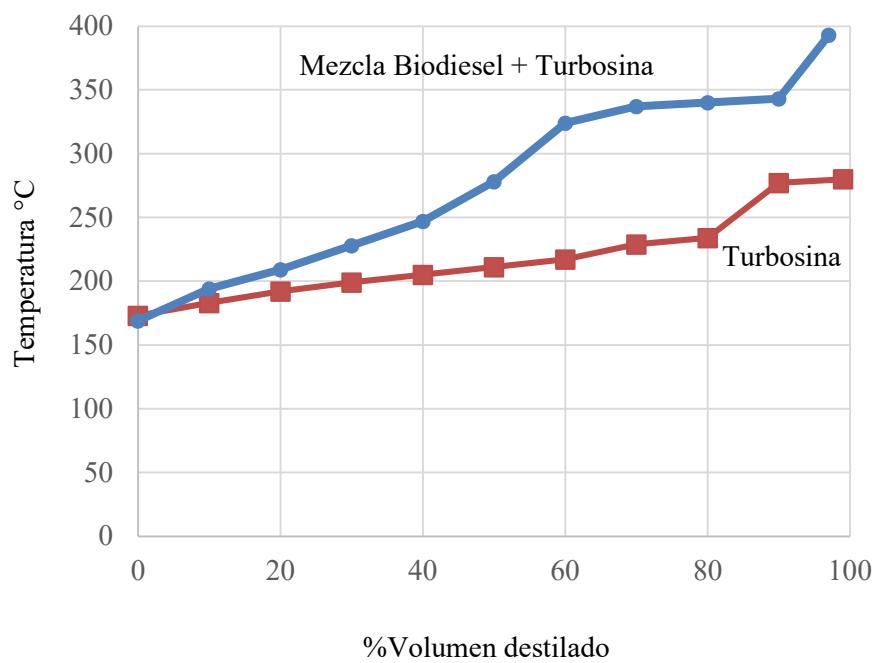


Fig.3. Perfil de destilación de la turbosina y la mezcla 50/50 biodiesel-turbosina.

De esto, resulta notorio las diferencias entre la turbosina y la mezcla 50%/50% biodiesel + turbosina; de manera general podemos decir que la mezcla tiene un perfil de destilación más alto,

esto relacionado tanto con el *flash point* y el poder calorífico. Aun así, las diferencias son de aproximadamente un 30% de temperatura alrededor del 50% del volumen destilado, lo cual no necesariamente es algo negativo, sino que puede tener muy buenas aplicaciones donde se requiera un combustible menos volátil.

## CONCLUSIONES

Se ha logrado desarrollar exitosamente un protocolo experimental con su definición de procesos y características para la síntesis de biodiesel a partir de residuos de aceite de cocina. De tal manera que se ha logrado una obtención productiva de biodiesel. La síntesis de biodiesel a partir de aceite de cocina logra un doble objetivo, el de reciclar los desechos del aceite de cocina que de otra manera requieren un gasto para recolección y confinamiento, evitando así la contaminación de tierras y aguas, a la vez que se le da una revalorización al producto que puede competir en costos litro por litro con el producto original. La obtención de biodiesel a partir de aceite de cocina usado se considera un biocombustible de segunda generación puesto que no compite con la producción de alimentos.

El biodiesel es una alternativa con un menor impacto ecológico reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero lo que la hace útil ya que no es necesario realizar modificaciones especiales a los motores de combustión interna para su utilización. Una investigación futura debería considerar realizar más mezclas en porcentajes distintos, así como con gasolina y diésel, e incluir pruebas de eficiencia energética directamente en un motor de combustión interna. Comparando los resultados de calidad del biodiesel en mezcla con turbosina contra la turbosina pura podemos evaluar que se logran resultados que hacen factible su utilización como combustible para motores.

Los resultados y diferencias dan lugar a seguir experimentando y seguir desarrollando alternativas energéticas de menos impacto ambiental, reduciendo a la vez los residuos generados por la actividad humana y con combustibles con menores emisiones de gases de efecto invernadero.

## REFERENCIAS

1. IPCC. (2001). Cambio Climático 2001, Informe de Síntesis.
2. Masera, O. &. (2001). Madera y Bosques. Obtenido de <https://doi.org/10.21829/myb.2001.711314>
3. NOAA. (2024, enero). *Dióxido de carbono | Signos vitales – Climate Change: Vital Signs of the Planet*. Global Climate Change: Vital Signs of the Planet. [https://climate.nasa.gov/...](https://climate.nasa.gov/)
4. L, M. (marzo de 2014). SciELO. Obtenido de [https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-40652014000100009](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652014000100009).
5. INECC. (18 de mayo de 2018). Cambio climático; acciones y programas. Obtenido de <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero>
6. REPSOL. (2023). Obtenido de <https://www.repsol.com/es/tecnologia-digitalizacion/technology-lab/reduccion-emisiones/biocombustibles/index.cshtml>
7. McCormick, R. (2023). Biodiesel Handling and Use Guide. Denver: Nrel.
8. REPSOL. (S.F.). Obtenido de <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/movilidad-sostenible/biodiesel/index.cshtml#:~:text=El%20biodi%C3%A9sel%20es%20un%20combustible,aceites%20vegetales%20o%20grasas%20animales>
9. REPSOL. (2022). Obtenido de Una alternativa sostenible: <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/movilidad-sostenible/combustibles-renovables/index.cshtml>
10. Herrera Bucio Rafael, R. C. (s.f.). Los aceites vegetales como fuente de biodiesel. Sabermás , 7.
11. Oliva J., F. J. (2015). Producción de biodiesel a partir de grasa animal utilizando catálisis heterogénea. Revista Iberoamericana de Ciencias, Vol. 2 no.5.