

Haciendo Biodiesel de Aceite Vegetal Usado



por Alison K. Varty y
Shane C. Lishawa

Traducción: Manuel Antonio Fernández
Domínguez

Áreas temáticas: química, ciencias
ambientales

Conceptos clave: energía renovable,
transesterificación, valoración,
viscosidad, densidad, punto de neblina.

Destrezas: medida, valoración,
procedimientos de laboratorio

Materiales: se indican en las listas que
acompañan a cada práctica

El biodiesel es un combustible renovable prometedor, que puede usarse con poca, e incluso ninguna tecnología de conversión, en los motores diesel y en los dispensarios de combustible. Hecho principalmente de semillas de plantas oleaginosas, el biodiesel presenta muchos beneficios ambientales, como menos emisiones de dióxido de carbono y otros contaminantes atmosféricos que los combustibles del petróleo,¹ siempre que los cultivos de los que se

produce el aceite se desarrollen en suelo dedicado a la agricultura.²

Sin embargo, también estos agrocombustibles presentan inconvenientes. Si todo el aceite de soja (un importante cultivo oleaginoso para combustible) cultivado en los Estados Unidos fuera convertido en biodiesel, solamente cubriría el seis por cien de la demanda estadounidense de diesel.³ Más aún, la plantación a gran escala de cultivos energéticos para biodiesel, u otros combustibles como etanol, amenaza la seguridad alimentaria y acentúa la presión sobre las tierras de barbecho y los ecosistemas nativos.⁴ Y cuando la tierra es deforestada para plantar cosechas para biocombustibles, la reducción en las emisiones de dióxido de carbono son eclipsadas por el dióxido de carbono emitido como biomasa que se quema o se descompone.⁵ En contraste al biodiesel hecho de aceite virgen, el biodiesel hecho de residuos de aceite vegetal no presenta estas desventajas.

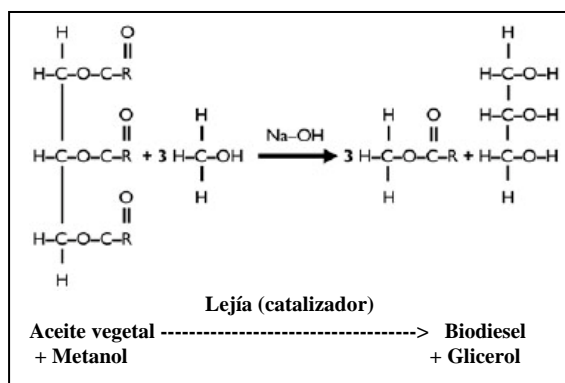
En nuestro curso titulado Soluciones a los Problemas Ambientales: el Biodiesel, en la Universidad Loyola de Chicago, los estudiantes construyen, equipan y mantienen un laboratorio para hacer biodiesel a partir de residuos de aceite vegetal. Nuestros estudiantes de educación han tenido un gran éxito trabajando con biodiesel en los institutos. El tema conecta de forma natural con muchos de los conceptos clave en química (combustión, densidad y

estados de la materia), biología (fotosíntesis, ciclos de la energía y del carbono) y estudios ambientales (cambio climático, polución atmosférica, agricultura, cambios en el uso de la tierra y energía alternativa).

Hacer biodiesel es práctico e interesante; manteniendo un reactor de biodiesel de pequeña escala comprometemos a los estudiantes en el diseño y la construcción y desarrollamos en ellos las aptitudes técnicas necesarias para el creciente número de “trabajos verdes”. Y lo más importante, un laboratorio de biodiesel suministra a los estudiantes un medio para hacer tangibles las reducciones en las emisiones de dióxido de carbono y otros contaminantes atmosféricos. Recogiendo los residuos de aceite vegetal generados en la cocina de la escuela y transformándolos en biodiesel que puede usarse en los equipos de mantenimiento de la escuela, los autobuses escolares, o para calentar, los estudiantes ayudan a disminuir la huella ecológica de la escuela.

Construir un laboratorio de biodiesel requiere un compromiso serio del conjunto de la comunidad escolar. También requiere un espacio con una ventilación adecuada (una toma de aire puro 100%); una campana extractora de humos; una vitrina inflamable para almacenar el metanol, que es uno de los reactivos necesarios; y un servicio de reparto de productos químicos peligrosos o un plan para usar la glicerina, uno de los productos derivados de la reacción. (La glicerina contiene una significativa cantidad de metanol que puede ser recuperado por medio de la destilación, y luego reutilizado; el producto purificado puede ser usado para hacer jabón.) Los planos para construir el reactor de biodiesel de pequeña escala pueden encontrarse en la página web de la Universidad Loyola de Chicago: www.luc.edu/biodiesel. Además de los costes iniciales de la construcción del pequeño reactor (aproximadamente 500 dólares), la escuela necesitará prepararse para su continuo mantenimiento y los gastos de los productos químicos, que variarán según la cantidad de biodiesel producida.

Aunque la construcción de un reactor de biodiesel ofrece valiosas oportunidades para el diseño y la investigación, también se puede producir biodiesel a una escala menor en envases enlatados o embudos de decantación como los descritos en las actividades siguientes. El protocolo de producción, lavado y deshidratación de biodiesel en un reactor grande sigue básicamente los mismos pasos que pueden ser encontrados en: www.luc.edu/biodiesel/pdfs/Biodiesel_laborator_y_procedure.pdf



Reacción de transesterificación, por la que se sintetiza biodiesel a partir de aceite vegetal.

Haciendo biodiesel de aceite vegetal usado

El biodiesel se elabora por medio de la transesterificación, una reacción en la que se esterifican y se dividen los ácidos grasos a partir de moléculas de glicerina, en presencia de un catalizador (ver Figura 1). La receta para producir biodiesel a partir de aceite vegetal virgen es simple: a 1 litro de aceite vegetal, añadir 200 ml de metanol y 3.5 g de hidróxido sódico (el catalizador).

La receta es más complicada para producirlo a partir de aceite vegetal usado. Las propiedades químicas de un aceite que ha sido calentado en una freidora en presencia de alimentos ricos en agua, tales como patatas congeladas, difieren de las del aceite virgen. En presencia de agua y calor, se produce la hidrólisis pues las cadenas de ácidos grasos se separan de la parte de glicerina en la molécula del triglicérido, formándose ácidos grasos libres. Con la presencia de estos ácidos, el pH del aceite disminuye y se hace necesario incrementar la cantidad de lejía para neutralizar su acidez. Para calcular la cantidad adicional de lejía que se necesita, debemos determinar la concentración de ácidos grasos libres en cada lote de aceite vegetal usado. Esto se realiza con una valoración.

Valoración del aceite vegetal usado

Materiales: gafas protectoras y guantes, 10-15 ml de una solución indicadora de fenolftaleína, 100 ml de alcohol isopropílico al 99%, tres vasos de precipitados de 50 ml, una bureta de 10-50 ml, un soporte para la bureta, un recipiente de 500 ml de hidróxido sódico limpiador, 1 litro de agua destilada o desionizada, un embudo, papel de pH, 250 ml de aceite vegetal usado.

Procedimiento:

Ponerse gafas protectoras y guantes.

Preparando la disolución a analizar

1. Medir 10 ml de alcohol isopropílico en cada uno de los tres vasos de precipitados de 50 ml.
2. Añadir 2-3 gotas de la disolución de fenoltaleína al alcohol de cada vaso de precipitados y agitar para mezclar los líquidos.
3. Añadir 1 ml de aceite sin usar a cada vaso de precipitados y agitar para disolverlo.

Preparando la disolución de referencia

1. Disolver 1 gramo de hidróxido sódico en un litro de agua destilada.
2. Usando un embudo, verter la disolución en la bureta.

Realizando la valoración

1. Colocar uno de los vasos de precipitados con la disolución a analizar debajo de la bureta.
2. Anotar la cantidad inicial de la disolución de referencia en la bureta.
3. Lentamente añadir la disolución de referencia, aproximadamente 0.5 ml de cada vez a la disolución de aceite y alcohol.
4. Agitar el vaso de precipitados.
5. Continuar añadiendo la disolución de referencia a la disolución de aceite y alcohol hasta conseguir un color rosa claro y que permanezca así durante 30 segundos aproximadamente.
6. Parar.
7. Anotar el volumen usado de la disolución de referencia (en ml) de la forma siguiente:
Volumen final – Volumen inicial = Disolución de referencia usada.
8. Repetir el procedimiento dos veces y anotar la cantidad usada de la disolución de referencia en ambas pruebas.
9. Calcular el volumen medio de la disolución de referencia usado en las tres pruebas (T)
10. Usar la fórmula indicada más abajo para determinar la cantidad de catalizador y reactivos que hay que usar para hacer el biodiesel a partir de aceite vegetal usado. Por cada litro de aceite, añadir 200 ml de metanol y X gramos de hidróxido sódico, donde $X = T + 3.5$ gramos.



Calculando el catalizador para la reacción del biodiesel

Richard Lawrence

Produciendo biodiesel

Después de haber sido calculada la cantidad apropiada de catalizador (hidróxido sódico), ya se está listo para la producción del biodiesel. Estas instrucciones sirven para hacer lotes de 500 ml, pero la receta puede ser ampliada o reducida

multiplicando las cantidades de aceite, metanol e hidróxido

sódico por el mismo factor.

Materiales: metanol (no es necesario usar metanol de elevada calidad; puede comprarse a un precio más bajo como combustible para coches de carreras o anticongelante de combustibles), hidróxido sódico, aceite vegetal usado, recipientes enlatados con tapa, y un embudo de decantación para más de 120 ml de líquido.

Procedimiento:

Ponerse gafas protectoras y guantes.

Produciendo metóxido de sodio

1. Bajo la campana de gases, verter 100 ml de metanol y 0.5X gramos de hidróxido sódico en un recipiente enlatado de un cuarto. (X = al valor obtenido en el paso 10 anterior).
2. Con la tapa sellada ajustadamente, agitar el contenido del recipiente hasta que el hidróxido sódico se haya disuelto. Nota: La reacción es exotérmica y se puede apreciar el calentamiento de la disolución. También se producirá un pequeño incremento de la presión. Después de agitar la disolución durante varios minutos, abrir la tapa bajo la campana de gases para aliviar la presión.

Produciendo biodiesel

1. Medir 500 ml de aceite vegetal usado.
2. Verterlo en el recipiente con el metóxido de sodio.
3. Agitar cuidadosamente la mezcla durante 10 minutos como mínimo.
4. Verter la mezcla en un embudo de decantación y dejarla asentar hasta el día siguiente (se comenzará a observar la separación entre la glicerina y el biodiesel a los 15 minutos; la glicerina es más densa y se depositará en el fondo del recipiente).

5. A la mañana siguiente se observará que se ha formado una capa de glicerina en el fondo del embudo de decantación (presentará un color más oscuro). Abrir la llave de paso para quitar la glicerina.

Lavando el biodiesel

El biodiesel producido contiene pequeñas cantidades del catalizador sobrante (por definición, un catalizador no se transforma en producto), glicerina y metanol. Estas impurezas pueden reducir el rendimiento del combustible pero todas ellas son solubles en agua y pueden ser extraídas lavando el combustible con agua.

Equipo: Gafas protectoras y guantes, papel de pH capaz de medir pH entre 7 y 12, un frasco lavador con agua desionizada o destilada preferentemente, pequeños vasos de precipitados, vinagre.

Procedimiento:

Ponerse gafas protectoras y guantes

1. Lavar el biodiesel crudo, rociar suavemente agua en el interior del embudo de decantación, usando el frasco lavador. Se puede agitar el agua removiendo suavemente la mezcla. El tapón debe ser seguro.
2. Colocar el vaso de precipitados en la abrazadera.
3. Casi inmediatamente, se podrá observar la separación entre el agua y el biodiesel. El agua es más densa que el biodiesel y precipitará en el fondo del embudo. Después de 5-10 minutos, sacar el tapón y girar la llave de paso para escurrir el agua.
4. Introducir el papel indicador de pH en el agua de lavado para medir su pH.
5. Registrar el valor del pH. Suele ser muy básico, como mínimo en torno a 10 debido al hidróxido sódico residual del biodiesel.
6. Repetir los pasos anteriores hasta que el agua de lavado sea neutra (en torno a 7) y registrar el pH en cada prueba.
7. Antes de desechar el agua de lavado, añadir una pequeña cantidad de vinagre para neutralizarla.

Deshidratando el biodiesel

Después del lavado, el biodiesel aparecerá turbio porque tiene moléculas de agua en suspensión. El agua reduce el rendimiento del combustible y debe ser extraída por deshidratación. Esto se consigue haciendo borbotear aire en el biodiesel. Las moléculas de agua en suspensión se unen a las burbujas de aire y son llevadas a la superficie del líquido, donde se evaporan.



Los estudiantes analizan las emisiones de gas y partículas del tubo de escape para establecer comparaciones entre el diesel y diferentes mezclas de biodiesel

Equipo: Aireador de acuario, tubería de silicona o PVC (el biodiesel disuelve el caucho;)

Procedimiento:

Deshidratar el biodiesel insuflando aire en el con un aireador de acuario durante aproximadamente 12 horas. Suspender la deshidratación cuando el biodiesel se ponga claro.

Probando la calidad del combustible

Muchas cosas pueden ir mal en el proceso de producción. Por ejemplo, una reacción incompleta tendría como resultado la unión de la glicerina que todavía permanece en el combustible. Esto aumentaría la viscosidad del combustible y podría dañar los motores. Las sencillas pruebas de calidad del biodiesel descritas más adelante no sólo nos informan de lo que ocurre en el proceso de producción, sino que también tienen un elevado potencial educativo para enseñar importantes conceptos de química y física a los estudiantes.

Determinando la densidad

La masa por unidad de volumen, o densidad del biodiesel, afecta al consumo del combustible, ya que la cantidad de combustible que entra en la cámara del motor es volumétrica. La densidad del biodiesel se incrementará por los restos de glicerina existentes y disminuirá por los de

metanol. Es posible medir la densidad del biodiesel usando un hidrómetro. Como la densidad varía con la temperatura (en general, la densidad descende cuando la temperatura aumenta), debe ser medida a una temperatura constante.

Equipo: Hidrómetro que lee entre 860 y 900 kg/m³, un tanque de cristal de 500 ml, 450 ml de biodiesel.

Procedimiento:

1. Calentar o enfriar sobre 420 ml de biodiesel a 15°C.
2. Verter el biodiesel en el tanque de cristal de 500 ml.
3. Introducir cuidadosamente el hidrómetro en el aceite con el peso de plomo hacia abajo y la escala de densidad hacia arriba.
4. Leer la densidad que marca el hidrómetro, asegurándose que se observa al nivel de los ojos para ignorar el menisco (el fluido que trepa por la pared del tanque y del hidrómetro).
5. La densidad del biodiesel debe estar entre 860 y 900 kg/m³.

Analizando la viscosidad

La resistencia a fluir, o viscosidad, del biodiesel final suministra una importante información sobre su calidad. Una viscosidad alta indica niveles altos de glicerina en el biodiesel. Esto puede tener un impacto en los inyectores de combustible de los automóviles al aumentar la resistencia al flujo del combustible. También puede provocar problemas de almacenamiento: el exceso de glicerina puede precipitar en el fondo de los depósitos del combustible. Para medir la viscosidad se usa un viscosímetro, consistente en una pieza de vidrio con un tubo capilar calibrado. La viscosidad se determina anotando el tiempo que tarda el biodiesel en fluir a través del tubo capilar. La viscosidad depende de la temperatura (aumenta al descender la temperatura) y por tanto debe ser medida a temperatura constante.

Equipo: Viscosímetro de Ubbelohde, hornillo, cilindro graduado de 2000 ml, un soporte circular con ganchos para suspender el viscosímetro en el baño maría, aproximadamente 30 ml de biodiesel, dos jeringuillas, una para succionar y otra para cargar los tubos de silicona del viscosímetro.

Procedimiento:

1. Seguir las instrucciones indicadas para el viscosímetro.
2. Poner 2010 ml de agua a 40°C en el cilindro graduado de 2000 ml. Colocarlo cerca del soporte circular.

3. Cargar el viscosímetro con biodiesel (para ello es conveniente usar una jeringuilla conectada al viscosímetro con un tubo de silicona).
4. Sumergir el viscosímetro en el baño maría y colocarlo verticalmente sobre el soporte.
5. Dejar la muestra de biodiesel en el baño maría durante unos 10 minutos.
6. Usando la otra jeringuilla, succiónese para traer la muestra del biodiesel al bulbo que está encima del tubo capilar.
7. Suprimir la succión del viscosímetro hasta que las gotas de la muestra salgan por el extremo inferior del tubo capilar.
8. Para obtener el tiempo de flujo, mídase el tiempo requerido para que el menisco pase entre las dos marcas indicadas en las instrucciones (esto llevará probablemente entre 2 y 10 minutos).
9. Para calcular la viscosidad del biodiesel en centistokes, multiplíquese el tiempo de flujo en segundos por la constante del viscosímetro (0.01).
10. La viscosidad del biodiesel debería estar entre 1.9 y 6 centistokes.

Calculando el punto de neblina

El punto de neblina describe la temperatura a la que aparece en el biodiesel una neblina o nubosidad de cristales sólidos; ello señala el inicio de un cambio de fase de líquido a sólido. Este enturbiamiento afectará al fluir del combustible a bajas temperaturas. El punto de neblina depende de la composición química del aceite usado para hacer el biodiesel. Por ejemplo, las grasas trans y saturadas tienden a enturbiarse a temperaturas más altas que las insaturadas. El funcionamiento de un motor por debajo del punto de neblina de su combustible puede potencialmente bloquear los conductos y obstruir los filtros. Esta prueba consiste en enfriar una muestra de biodiesel y examinar visualmente su enturbiamiento.

Equipo: 100 ml de biodiesel, un vaso de precipitados de 100 ml, una pieza de corcho espuma con un agujero para colocar el termómetro, termómetro, hielo, sal.

Procedimiento:

1. Medir 100 ml de biodiesel en un vaso de precipitados y verterlo en el recipiente donde realizaremos la prueba.
2. Taponar el vaso con la pieza de espuma y colocar un termómetro a través del agujero para que descansa encima del fondo del recipiente de la prueba.
3. Preparar un baño de agua fría: en un vaso de precipitados de litro rellense hasta la mitad con hielo envasado y luego añadanse 20 gramos de

sal de mesa. Agitar vigorosamente y seguir el proceso hasta que la temperatura alcance aproximadamente los -10°C.

4. Colocar el recipiente de la prueba en el baño de agua fría.
5. Permitir que la muestra se incorpore en el baño durante 1 minuto.
6. Observar el biodiesel y la temperatura cada 30 segundos.
7. Registrar la temperatura a la que el biodiesel empieza a enturbiarse (se empezará viendo una blancura cremosa en el combustible, usualmente hacia el fondo del recipiente)

Alison K. Varty coordina y comparte la docencia en las clases de STEP (Soluciones a los Problemas Ambientales) del Centro de Política e Investigación del Medio Ambiente Urbano, de la Universidad Loyola de Chicago. **Shane C. Lishawa** enseña con ella y dirige el Laboratorio de Biodiesel.

Traducción: Manuel Antonio Fernández Domínguez. Coordinador del Taller de Educación Ambiental del Instituto de Ciencias de la Educación de la Universidad de Santiago de Compostela, Galicia, España.

Notas:

1. J. Hill, E. Nelson, D. Timan, S. Polasky y D. Tiffany. "Environmental, Economic and Energetic costs and Benefits of Biodiesel and Etanol Biofuels". Proceedings of the Nacional Academy of Sciences 103 (2006), pp 11206-11210.
2. T. Searchinger, R. Heimlich, R.A. Houghton, F. Dong, A. Elobeid, J. Fabiosa, S. Tokgoz, D. Hayes, T. Yu. "Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases through Emissions from Land-use Change". Science 319 (2008), pp 1238-1240; y J. Fargione, J. Hill, D. Tilman, S. Polasky, P. Hawthorne. "Land Clearing and Biofuel Carbon Debt". Science 319 (2008), pp. 1235-1238.
3. Hill et al., 2006.
4. Searchinger et al., 2008.
5. Fargione et al., 2008.