

Biodiesel, Métodos Artesanales para su Fabricación

Ian Homer¹, Evelyn Hunter²

(1) Dr. Ingeniero Agrónomo (2) Licenciada en Agronomía
Departamento Ingeniería y Suelos

ihomer@uchile.cl

Chile es un país fuertemente dependiente de las importaciones de petróleo, cerca del 90% del combustible fósil que se consume es importado, y de éste, más del 60% se destina al sector transporte. La utilización de fuentes alternativas de energía y combustibles, es una buena opción para enfrentar la gran dependencia del petróleo.

Por otro lado, criterios económicos y medioambientales han ido incrementando el interés de obtención de nuevas fuentes de energía alternativa y renovable, y a la vez no contaminante. Esos mismos criterios han motivado a las industrias a tomar medidas más drásticas para disminuir los contaminantes que anteriormente producían.

Es así como surge el biodiesel, obtenido de diferentes tipos de aceite vegetal, el cual puede utilizarse puro o en mezclas con diesel. Es un combustible alternativo, limpio y seguro; incluso a principios del siglo pasado, Rudolf Diesel, el inventor de los motores diesel, propuso el uso de aceite de maní durante una presentación en la Expo de París.

Por otra parte, la introducción de nuevas especies en zonas degradadas, para ser utilizadas como bioenergía podría llegar a ser una buena solución a la erosión de suelos no utilizados, y por ende, pueden ser una alternativa socioeconómica, ya que contribuiría a incrementar la rentabilidad de los agricultores o de la empresa agrícola y a generar empleo en zonas marginales.

En muchos países, el biodiesel tiene un papel clave en las políticas de energía renovable, en el Reino Unido está disponible en el mercado y paga menos impuestos que el diesel ordinario; Alemania produce alrededor del 50% del biodiesel de la Unión Europea, siendo el 2005 el mayor productor del mundo, con 1.896.000 m³ año⁻¹, con más de 1.500 gasolineras que lo suministran, y por estar subsidiado, se vende más barato que el diesel común, todo el diesel fósil que se vende contiene entre un 2% y un 5% de biodiesel; esta medida se extenderá pronto por Europa gracias a las nuevas leyes de la Unión Europea.

En Estados Unidos se están creando leyes similares a las europeas, mientras aumenta el número de proveedores, y aunque por el momento es más caro el biodiesel que el diesel ordinario, las ventas crecen rápidamente y se espera que los precios disminuyan con el tiempo. La Agencia de Protección del Medio Ambiente de EE.UU (EPA) lo registra como combustible y como aditivo.

En el último tiempo, se ha despertado un fuerte interés por los biocombustibles en Chile, tanto etanol como biodiesel, el estado ha comprometido una gran cantidad de recursos para apoyar iniciativas de investigación en esta línea. Según planteamientos del gobierno, el objetivo a 10 años plazo, es llegar a producir al menos el 15% del combustible utilizado en transporte, cubriendo de ese modo entre el 2 al 5% de las necesidades del país, en una primera etapa con raps. En la actual propuesta chilena de reglamento para los biodiesel, se especifica que éstos biocombustibles deberán estar presentes en un 5% (B5), lo que quiere decir que el biodiesel estará compuesto



Figura 1. Etapas para la producción de biodiesel y glicerina

por un 95% de petróleo diesel y un 5% de éster metílico.

No todos los aceites sirven para obtener biodiesel, se excluyen los que presentan un alto índice de yodo (índice que mide la cantidad de enlaces dobles y la posibilidad de polimerización del aceite), un ejemplo muy claro es el aceite de linaza.

Existen residuos de la industria de los aceites y restos de aceites utilizados en frituras (restaurantes, casas, etc.), que son liberados por el alcantarillado o eliminados como residuos, y que con el conocimiento actual podrían ser transformados mediante transesterificación en biodiesel.

Características del biodiesel

La Unión Europea define a los biodiesel como "éster metílico producido a partir de un aceite vegetal o animal de calidad similar al petróleo diesel para su uso como biocarburante". Este biodiesel puede usarse mezclado con diesel en cualquier proporción (con mayor o menor efecto en los motores), y las cantidades utilizadas en la mezcla determinarán las características finales del combustible, denominándose a la mezcla como biodiesel, y el porcentaje de éster metílico se señala en la nomenclatura del biodiesel, siendo algunos ejemplos: B1, B10, B50, B100, los que equivalen a que el éster metílico se encuentra mezclado con diesel en los porcentajes de 1, 10, 50 y 100% respectivamente, siendo B100 solo éster metílico..

El biodiesel presenta una serie de ventajas, entre ellas, mejora la lubricación y las condiciones de anti-explosión e incendio, presentando un rendimiento similar a las bencinas, aunque comparado con el diesel, contiene un 12% menos de energía, factor que se ve compensado con un aumento del 7% de la eficiencia de combustión. Otra gran ventaja es que disminuye las emisiones de partículas en

suspensión, así como de las emanaciones, presentando una reducción entre 16 y 65% de las emanaciones de monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC), con un valor promedio de 50%, valores muy por debajo de lo máximo permitido, pero con un leve aumento de los Óxidos de Nitrógeno (NO). Este último efecto perjudicial se puede reducir modificando el momento de la inyección en el motor diesel. Además, presenta una biodegradación mucho más rápida, siendo semejante al azúcar, lo que lo hace amigable con el medio ambiente.

Utilización de aceites vegetales como biocombustibles

Para que un biocombustible tenga éxito, se debe lograr que los motores no sufran grandes modificaciones ni presenten problemas a largo plazo, y al mismo tiempo, que la potencia y el consumo no se vean muy afectados.

Una de las grandes limitantes para su utilización es la elevada viscosidad del aceite (hasta 16 veces mayor que el diesel), pero se puede adaptar el motor para esas condiciones, o bien, adaptar el

aceite para trabajar con los motores actuales.

Las adaptaciones al motor son de tres tipos, ya sea la creación de un motor específico (motores Elsbett), la utilización de un motor con pre-cámara, los que son menos exigentes en cuanto a regulaciones, o bien, adaptar el motor para precalentar el combustible a 60°C antes de la bomba inyectora, como lo ha desarrollado Deutz-Fahr.

Las modificaciones al aceite para disminuir su viscosidad, se realizan mayormente mediante transesterificación (Figura 2), denominándose así ya que se parte con un éster (aceite vegetal) y se llega a otro (biodiesel), sustituyendo el alcohol del aceite vegetal (glicerol) por otro más simple (metanol o etanol), para lo cual primero se separa el glicerol y luego se unen los ácidos grasos libres con el otro alcohol, utilizando soda cáustica (NaOH) como catalizador.

Otra posibilidades para disminuir la viscosidad, es mezclar el aceite con algún elemento que ayude a su disolución, como podría ser con gasolina y etanol, o bien con parafina, en diferentes proporciones, como se muestra en el Cuadro 1;

Cuadro 1. Comparación de viscosidades obtenidas según forma de tratar el aceite nuevo con respecto al diesel (100%)

Aceite	Viscosidad %
Aceite puro nuevo	892,0
Aceite transesterificado	119,6
Aceite + 20% parafina	458,6
Aceite +15% gasolina + 5% alcohol etílico	345,0
Diesel	100,0

Fuente: Homer *et al*, 2006

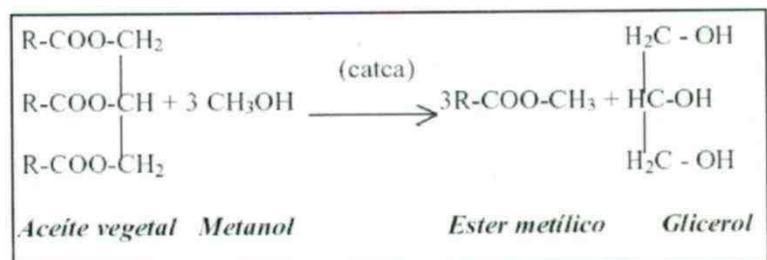


Figura 2 Reacción de transesterificación

sin embargo, estos métodos no son tan efectivos como la transesterificación.

La elaboración de biodiesel dentro de un concepto industrializado está bien definida, existiendo en el mercado equipos para diferentes niveles de producción, pero por otro lado, esta elaboración puede ser interesante para que pequeños productores puedan preparar ellos mismos sus combustibles. Es por eso que la Web ofrece mucha información dentro del criterio "hágalo usted mismo", con los métodos tradicionales, y métodos alternativos para compensar ciertas dificultades o deficiencias que se presentan al elaborarlo a pequeña escala y sin la tecnología adecuada, tema en el cual nos centraremos en este artículo, y cuyos ejemplos están basado en los resultados obtenidos en el proyecto de investigación "Evaluación preliminar del posible uso de distintas especies vegetales y de desechos industriales en la producción de biodiesel y su comportamiento en motores agrícolas" realizado en el Departamento de Ingeniería y Suelos y financiado por el Departamento de Investigación, de la Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo, de la Universidad de Chile.

Comparación de metodos artesanales para preparar biodiesel

La transesterificación del aceite (Figura 2) consiste en forma tradicional, en hacer reaccionar el aceite vegetal (compuesto de tres cadenas de ácidos grasos unidos a una molécula de glicerina) con un alcohol (mayormente metanol, pero puede ser etanol) en presencia de un catalizador (normalmente hidróxido de sodio (soda cáustica), aunque puede ser hidróxido de potasio); de esa forma el éster se separa de la glicerina. Las cantidades normalmente recomendadas por cada litro de aceite a transesterificar son 200 cm.³ de metanol; para aceite nuevo la cantidad de soda cáustica es 3,5 gr L.⁻¹ y para el aceite usado 6,25 gr L.⁻¹. Para llevar a cabo la reacción, el aceite se debe

calentar a una temperatura determinada en función del tipo de aceite, si éste es nuevo, la temperatura es entre 35-42°C y si es usado entre 48-54°C, la cual se debe mantener durante todo el proceso. En forma paralela se debe elaborar metóxido de sodio (Na⁺ CH₃O⁻), mediante la agitación durante 10 minutos de metanol y soda cáustica. El metóxido es un compuesto altamente peligroso, por lo que deben tomarse todas las precauciones posibles para su preparación y manipulación, ya sean anteojeras, guantes, buena ventilación, etc.

Luego se procede a agregar el metóxido al aceite caliente en agitación (mediante un taladro o motor conectado a algún vástago con hélice o aspa) y se continúa agitando vigorosa e ininterrumpidamente durante una hora, tiempo suficiente para que ocurra la transesterificación. Pasado el tiempo de agitación se dejará reposar por 12 horas, para que ocurra la decantación de las glicerinas (Figura 3), finalmente se separa el metiléster aspirándolo.

La agitación es de crucial importancia para la obtención de un producto de buena calidad, ya que si no es realizada en forma vigorosa, no se logra la reacción completa ni la liberación de toda la glicerina.

El producto obtenido presenta el inconveniente que, a pesar que se ha dejado decantar, en el metiléster aún hay restos de metanol y de soda cáustica, por lo cual el pH es muy alcalino (cercano a 9), aspecto que puede provocar daño en los motores. Es por esa razón que posteriormente a la transesterificación el aceite debe ser limpiado o lavado para extraer los restos de soda cáustica y llevar el pH a valores neutros (el metanol puede ser extraído calentando el biodiesel a 100 °C, proceso que se realizará después en el lavado), aspecto que se abarcará más adelante.

Existen dos dificultades frecuentes en la fabricación del biocombustible; una de ellas es lograr un adecuado corte de las cadenas y por ende la separación de la glicerina y, posteriormente, debido a un procedimiento con mayor pérdida de producto, es el lavado del biocombustible, ya que el exceso de agua o de agitación provoca la emulsión de éste, con formación de jabones que no podrán separarse por decantación, perdiéndose de esa forma parte o el total del producto ensayado.

Un segundo método para la preparación de biodiesel mediante transesterificación, es el denominado sistema por lotes, donde en vez de aplicar el total del



Figura 3. Esquema del proceso de transesterificación de aceites y foto de los productos obtenidos.

Cuadro 2 Viscosidad y densidad de aceite nuevo y usado sometido a tratamiento tradicional y por lotes para obtención de biocombustible.

Aceite	Viscosidad cSt	Densidad a 15 °C (gr cm ⁻³)
Aceite usado	34,95	0,93
Biodiesel usado tradicional	3,05	0,93
Biodiesel usado por lotes	3,36	0,88
Aceite nuevo	26,95	0,91
Biodiesel nuevo tradicional	3,61	0,93
Biodiesel nuevo por lotes	3,83	0,89
Diesel	3,02	0,85

(usado y nuevo se refieren a la procedencia del aceite.)

metóxido de sodio (hidróxido de sodio mas metanol) al aceite, se aplica $\frac{3}{4}$ del metóxido de sodio en una primera etapa, y posteriormente a la decantación, se repite el procedimiento utilizando el $\frac{1}{4}$ restante.

Al analizar las características de viscosidad y densidad del biodiesel obtenido mediante el método tradicional y por lotes (Cuadro 2), se aprecia que ambos provocan una notoria disminución de la viscosidad de los aceites, ya sean usados o nuevos. Aunque los valores no son tan bajos como los del petróleo diesel (3,02 cSt), alcanzan a estar dentro de la normativa del petróleo diesel, y dentro del rango de la normativa europea de biocombustibles (< 4,8 cSt). Por otro lado, aún cuando se aprecia una mayor mejora en la viscosidad al usar el sistema por lotes, no se han encontrado diferencias estadísticas entre los métodos. Podrían existir diferencias en algún tipo de aceite que sea más complicado de transes-

terificar, pero no ha sido hasta ahora el caso de los aceites que se utilizaron en los ensayos del proyecto ya mencionado. De todas maneras, para que este segundo método denominado por lote sea superior al tradicional, la mejora de la viscosidad debería ser bastante superior para justificar el gasto energético y de tiempo al realizar el procedimiento de transesterificación en dos etapas.

Lavado del biodiesel

En el proceso de lavado se pueden aplicar dos métodos: el más común es, mediante agitación, consiste en agregar agua en una proporción de un 10% del volumen de aceite y agitar suavemente por unos 5 minutos. Luego se deja reposar unas 8 horas para decantar el agua presente, la que se extrae; finalmente el biocombustible se calienta a 100 °C para evaporar los restos de agua que pudiesen estar mezclados con el com-

bustible, manteniéndose la temperatura hasta que dejen de salir burbujas. De no realizar una agitación muy suave, se corre el riesgo de emulsificación, por lo que constituye una práctica muy delicada que podría generar algún tipo de complicaciones al hacerlo en casa (Figura 4c)

Otra metodología de lavado es en base a aireación, denominada "Método de burbuja de la Universidad de Idaho". Las burbujas de aire se forman haciendo pasar aire comprimido a través de un difusor, para lo cual se utiliza una pequeña bomba de acuario y una piedra difusora. En un tanque de lavado se coloca el biodiesel, al que se le agrega agua en un volumen entre $\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{2}$ mayor que el volumen del biodiesel. Lo primordial de este método es que el pH del agua sea tantas veces bajo 7, como el biodiesel es sobre 7; de ese forma, si el biodiesel tiene pH 9 (dos unidades sobre 7, medido con papel pH o equipo manual) se debe preparar una mezcla de agua con un poco de vinagre que tenga pH 5 (dos unidades bajo 7). Normalmente la aplicación de vinagre es en muy pequeñas cantidades, por lo cual vale la pena diluirlo un poco antes de realizar estas mezclas. El agua está en el fondo, donde se encuentra la piedra difusora, y el combustible flota encima; las burbujas de aire, idealmente abundantes y muy pequeñas, suben atravesando primero el agua y luego el biodiesel. Cada burbuja queda cubierta por una fina película de agua y la eleva a través del biodiesel, lavándolo en su recorrido, cuando la burbuja llega a la su-



Figura 4 a) Biodiesel previo lavado

b) Biodiesel bien lavado

c) Biodiesel mal lavado

perficie estalla y deja una gotita de agua que vuelve al fondo, atravesando de nuevo el biodiesel y lavándolo por segunda vez. Este método de lavado debe funcionar por unas 6 horas y posteriormente se deja reposar; algunas piedras difusoras de baja calidad sufren abrasión con el biodiesel, las cerámicas son mejores y duran indefinidamente.

Cuadro 3. pH obtenido con aceites usados, según diferentes métodos de lavado

Método	pH
Sin lavar	9,3
Lavado tradicional	7,5
Lavado mediante burbujas	6,0

Con respecto al lavado, el método de burbujas, aunque es un método largo (6 horas), presenta la ventaja de que se evitan el problema de emulsificación que ocurre al realizar el lavado tradicional (Figura 4bc), ya que el biodiesel es muy sensible a la cantidad de agua y a la fuerza de agitación, sobre todo cuando se utilizan aceites vírgenes. En el lavado por burbujas, debe tenerse la precaución que las burbujas no sean excesivas, ya que más que actuar como un sistema de transporte a través del combustible, este sistema se comportará como un agitador, provocando los mismos problemas, o peores, que el sistema tradicional. Por otro lado se corre el riesgo de bajar demasiado el pH como se aprecia en el cuadro 3, donde se bajó el pH de 9,5 a 6, cuando lo ideal hubiese sido bajarlo a 7. En el método de burbujas, el biodiesel tiene un aspecto más limpio y cristalino después de lavarlo, tanto es así, que en el proceso de calentamiento a 100°C para eliminar restos de agua, generalmente no se observan burbujas

Consideraciones generales

El uso del biocombustible en un motor diesel, implica que éste debe mezclarse con petróleo diesel, en un volumen no mayor a un 15%, para evitar realizar modificaciones mayores en el motor, principalmente en la bomba inyectora. Aún así, con contenidos superiores a 5% de biocombustible, se debe tener la precaución de remplazar los elementos que tengan goma y que estén en contacto con el biodiesel, como los conductos de combustible, y revisar continuamente los filtros de petróleo, ya que el biodiesel tiene un efecto de limpieza que puede provocar que se desprendan depósitos o incrustaciones antiguas en el sistema de combustible, los cuales podrían taponar los filtros.

Se debe tener en cuenta que el biodiesel presenta una duración de aproximadamente 6 meses y debe ser guardado en recipientes resistentes, ya que la glicerina puede carcomer los envases plásticos.

Literatura para profundizar el tema

- ANÓNIMO, 2006. Haz tu propio biodiesel. Disponible en http://journeytoforever.org/es/biodiesel_fabricar.html#1mixing. (Visitado, Marzo 2006).
- DORADO, MP.; BALLESTEROS, E.; LÓPEZ, FJ. 2001. Ester metílico de aceite de Brassica Carinata como combustible para motores diesel. 1º Congreso Nacional de Ingeniería para la agricultura y el

medio rural AGROINGENIERIA 2001, 19-21 Septiembre 2001, Valencia.

- DORADO, MP.; ARNAL, JM., GÓMEZ, J.; BALLESTEROS, E.; LÓPEZ, FJ. 2003. Funcionamiento de un motor diesel al utilizar biodiesel de aceite de oliva recalentado como combustible. 2º CONGRESO DE LA SOCIEDAD DE AGROINGENIERÍA, Córdoba, septiembre de 2003.82-87 p
- KAC, A. 2006. Adaptación a dos etapas de la fórmula de Mike Pelly. Disponible en <http://journeytoforever.org/energíaweb/aleks.htm> (visitado, Marzo, 2006)
- HOMER, I. 2006. *Motores y Biocombustibles*. In: Acevedo, E. (Ed), *Agroenergía. Un desafío para Chile*. Serie agronómica N° 11. 149-164p.
- HOMER, I.; RUIZ, FJ.; HUNTER, E. 2006. Comparación de diferentes métodos caseros para la obtención de biodiesel. VII Congreso latinoamericano y del caribe de Ingeniería Agrícola (CLIA 2006), V Congreso Internacional de Ingeniería Agrícola (CIACH 2006). 10-12 Mayo 2006. Termas de Chillan, Chillan, Chile
- MÁRQUEZ, L. 1995. Los biocarburantes: Limitaciones y perspectivas. In: Instituto de Ingenieros de España, *Energías Renovables*.
- MARTÍNEZ, R. 2001. Combustibles vegetales Los hederemos del gasoil. *Revista Super Campo*. VII, N°78
- UGOLINI, G. 2001. Combustibles vegetales, nuevo rol para la agricultura. *Revista Super Campo*. VII, N°78: