

## **Influencia del porcentaje de mezcla del aceite de higuera en la obtención de combustible alternativo para motores diesel**

## **Influence of castor oil mix composition on the production of biofuel**

*Arnoldo Emilio Delgado<sup>1,2</sup>, Willian Aperador Chaparro<sup>1,2\*</sup>, Jorge Réne Silva Gonzalez<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Ingeniería Mecatrónica, Universidad Militar Nueva Granada, Carrera 11 N.º 101-80, Bogotá, Colombia

<sup>2</sup>Ingeniería Mecánica, Escuela Colombiana de Ingeniería, Julio Garavito, AK. 45 N.º 205-59. A.A. 14520, Bogotá, Colombia

<sup>3</sup>Ingeniería Mecánica, Universidad Libre, Calle 8a N.º 5-80, Bogotá, Colombia

(Recibido el 08 de marzo de 2010. Aceptado el 27 de agosto de 2010)

### **Resumen**

En el presente artículo se describe el uso del aceite de higuera como combustible alternativo en motores diesel. Para este fin, se obtiene biodiesel a partir de aceite de higuera mediante el proceso de transesterificación. Se prueban tres mezclas de biodiesel (B5%, B10% y B20%) en un motor diesel, para el cual se midieron los siguientes parámetros: la potencia, el consumo de combustible, la temperatura del motor, y los gases de combustión; las mezclas fueron caracterizadas mediante la densidad, viscosidad, índice de refracción y calor de combustión. Se determinó que el uso del aceite de higuera en la mezcla genera un aumento en la viscosidad y el consumo de combustible, además también influye en la reducción del poder calorífico, potencia del motor, los gases de combustión como el CO y CO<sub>2</sub>, los óxidos de azufre, los hidrocarburos, la opacidad en los humos del escape del motor y ocasiona un equilibrio en el rendimiento observado en el motor diesel, manifiesto en las temperaturas del motor.

----- *Palabras clave:* aceite de higuera, biodiesel, densidad, viscosidad, gases de combustión

---

\* Autor de correspondencia: teléfono: + 57 +1 + 668 36 22, fax: + 57 +1 + 668 36 14, correo electrónico: william.aperador@escuelaing.edu.co. (W. Aperador)

### Abstract

Castor oil trans esterification has been evaluated as a source of alternative biodiesel. Three mixtures of biofuel (B5% B10% and B20%) were tested in a diesel engine. Power, fuel consumption, temperature and exhaust emissions were measured. Also, densities, viscosities, refractive indexes and combustion heats of the mixtures were determined. The use of biodiesel mixtures produces an increase of viscosity and fuel consumption, decreasing the heating and engine power, reducing the combustion gases like CO, CO<sub>2</sub>, sulfur oxides, hydrocarbons, and lowering the opacity of exhaust emissions. Additionally, a balance in the observed diesel engine performance was evidenced by the engine temperatures.

----- *Keywords:* castor oil, biofuel, densities, viscosity, combustion gases

### Introducción

El aumento del parque automotor año tras año en Colombia, ha generado una relación directa con la contaminación del medio ambiente por las constantes emisiones de gases; adicionalmente la variabilidad del precio del petróleo ha mostrado una clara necesidad de nuevas posibilidades de generación de combustibles a base de recursos renovables. La implementación del biodiesel se esta dando en el país actualmente con pequeñas plantas productoras del mismo, cuyo origen se centra en las propiedades aceite de palma, el cual se reglamento para una mezcla de biodiesel del 5% con el diesel de origen fósil. Este escenario ha motivado a una búsqueda incesante de soluciones al problema energético en el país. Las respuestas apuntan a una posible sustitución de combustibles derivados del petróleo por combustibles más limpios; como lo son los biocombustibles de origen vegetal o animal [1-4].

El biodiesel tiene ciertos atributos que lo resaltan en ventaja frente al diesel de origen fósil, algunos de estos son: un combustible libre de azufre, aromático, no tóxico, biodegradable. Su utilización reduce notoriamente los gases de escape, además se comporta como un aditivo para combustible. El buen desempeño de un motor diesel ante la utilización de este tipo de combustible dependerá de sus propiedades intrínsecas y de la calidad del producto [5-7].

El aceite de higuierilla es una alternativa renovable y energética de la cual se pueden obtener materias primas como sustituto de combustibles fósiles (*petróleo*), esta planta también puede emplearse como base para resinas, lubricantes de motores de alta rotación, entre otros. El aceite de esta semilla es una buena opción de comercialización para la industria de hidrocarburos, así como un producto para la cadena agroindustrial; productos oleo químicos, biocombustibles y la obtención de otras sustancias son algunos de los usos que se pueden lograr a partir de sus hojas [8-11]. En la actualidad, ésteres de ácidos grasos alquilo, se obtienen por reacción de los triglicéridos con alcoholes bajos, como el metanol o etanol, en presencia de una base utilizada como catalizador. La reacción produce glicerina como un subproducto. Los triglicéridos que se utilizan en la reacción pueden venir de una variedad de aceites, incluida la higuierilla (*Ricinus communis*) [12, 13]. Los aceites utilizados en reacciones de transesterificación alcalina no debe contener más de un 1% de ácidos grasos libres. Si el nivel de ácidos grasos libres supera este umbral y dificulta la separación de los ésteres de la glicerina y reduce el rendimiento y la tasa de formación de ácidos grasos libres [14].

El objetivo de este artículo consiste en estudiar el efecto del porcentaje de mezcla del aceite de higuierilla en la obtención de un combustible alternativo para motores diesel. El desarrollo

del trabajo se realizó en dos fases: en la primera se obtuvo el biodiesel de aceite de higuera mediante el proceso químico de transesterificación y en la segunda se realizaron ensayos con un motor diesel para evaluar el comportamiento del biocombustible al 5%, 10% y 20% en las mezclas con ACPM.

## Desarrollo experimental

La investigación se desarrolló en dos etapas las cuales se describen a continuación:

La primera fase de la investigación parte del aceite de higuera (adquirido a la compañía Higueroil de Colombia). Para la obtención del biodiesel a partir de este aceite, se realiza un proceso de transesterificación, que consiste en mezclar el hidróxido de sodio con el metanol, para dar origen al metóxido de sodio, en una concentración de 250 ml de metanol en 3 g de hidróxido de sodio para un litro de aceite. El aceite se calienta hasta alcanzar una temperatura de 45°C para que la reacción sea más completa; se le agrega el metóxido de sodio el cual rompe los enlaces de los ácidos grasos para dar origen al biodiesel y obtener como subproducto la glicerina.

Con el fin de lograr la calidad deseada del biodiesel obtenido del proceso de transesterificación, se realizó un preámbulo inicial de lavado donde se agregó agua destilada al biodiesel con el propósito de eliminar impurezas, de igual forma se efectuó un mecanismo de secado que consistió en agregar un secante para eliminar el agua residual que se absorbió del proceso anterior. Para la verificación de esta metodología experimental la muestra se analizó por espectrometría infrarroja. También se determinaron algunas propiedades como la densidad (ASTM D-1298) [15], viscosidad a una temperatura 40 °C (ASTM D-445) [16] e índice de refracción del biodiesel puro y el mezclado con diesel común al B5%, B10% y B20%. Las mezclas se realizaron en porcentaje a volumen, es decir que para el B5% se utilizó 95% de ACPM y 5% de biodiesel, para el B10% el 90% de ACPM y 10% de biodiesel y para el B20% con 80% de ACPM y 20% de biodiesel. También se determinó

el calor de combustión del ACPM, el biodiesel puro y las mezclas para observar y comparar su comportamiento.

En el desarrollo de la segunda fase se utilizó un motor Mercedes Benz, con 4 cilindros en línea, refrigerado con agua, de inyección directa, con potencia de trabajo de 110HP, un torque de 150 lb ft, la relación de compresión es 15:1, el arranque de 12 V, y una caja de 5 velocidades. Las pruebas realizadas son las siguientes: temperatura del motor, gases de combustión, consumo de combustible y la potencia del motor con combustible ACPM y las mezclas al B5%, B10% y B20%. Para realizar las medidas de temperatura se utilizó una termocupla tipo K instalada en el motor; esta arroja una lectura de la temperatura del agua del motor en grados Celsius. En cuanto al consumo de combustible para cada mezcla se rotuló el beaker en intervalos de 250 mL con una probeta del laboratorio. Durante cada prueba se registró el tiempo con un cronómetro a varios intervalos y se obtuvo un promedio general. Los gases de combustión fueron analizados mediante un equipo de marca testo y referencia 350 X/L, este equipo registra los gases de CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y los hidrocarburos no quemados (Cx Hy), el control en el valor de la potencia se realizó con un generador marca Siemens con una capacidad de corriente de 0 a 800 Amperios, a una potencia máxima de 130kW y empleando un tacómetro digital para medir el régimen de giro en el generador.

## Resultados

En lo correspondiente a la verificación del proceso químico de transesterificación se realizó un análisis de infrarrojo del aceite de higuera y biodiesel. Comparando los dos espectros (figura 1 a y b) se logra observar por medio de las bandas de transmisión características de los ésteres, que entre longitudes de onda de 1220 cm<sup>-1</sup> y 1125 cm<sup>-1</sup> aparecen bandas típicas de éster. Los resultados analíticos de los infrarrojos del aceite con el biodiesel y aceite de higuera con éste patrón demuestran de manera acertada que el proceso de transesterificación del aceite de higuera ocurrió correctamente, permitiendo que este

mecanismo experimental se lleve a cabo para la obtención final del biodiesel. Después de este

procedimiento se obtuvieron 6 litros de biodiesel, además de NaOH, metanol y glicerina (Tabla 1).

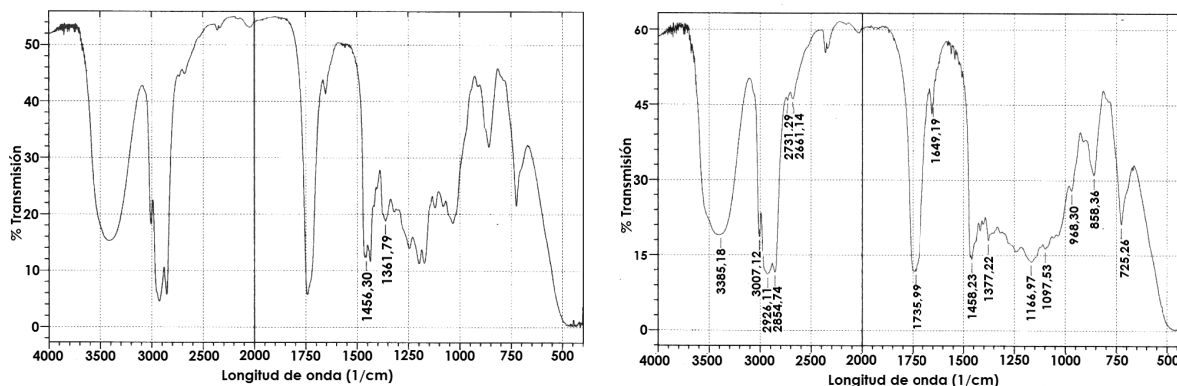


Figura 1 Infrarrojo del: a) biodiesel de higuierilla y b) aceite de higuierilla

Tabla 1 Insumos y reactivos para el biodiesel obtenido [8]

Metanol	NaOH	Biodiesel	Glicerina
1.500 mL	18 g	6.000mL	390 mL

La densidad del biodiesel y las mezclas (ACPM con el biodiesel de aceite de higuierilla), presentan un incremento debido a que la densidad del biodiesel es mayor y al ser mezclado con el ACPM aumenta gradualmente según la mezcla (Figura 2). El incremento en la mezcla B5% aumentó en 1.44%, B10% en un 2.04%, B20% en 2.88% y B100% en un 11.04% con respecto al ACPM.

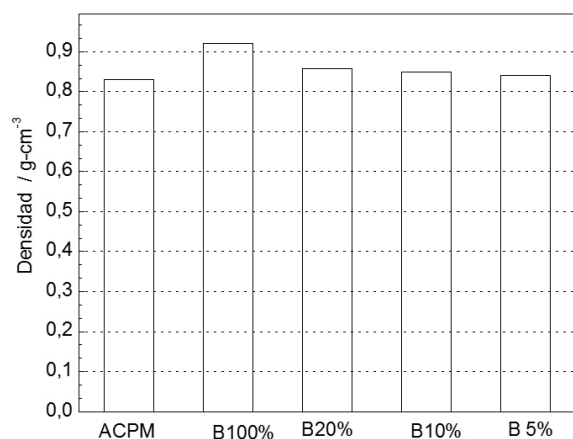


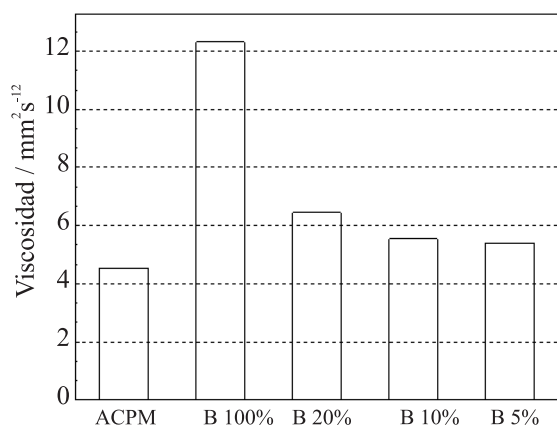
Figura 2 Diagrama de la variación de la densidad respecto al ACPM y las mezclas de biocombustibles

La viscosidad determinada se ve afectada por la densidad de las mezclas, y en consecuencia, se manifiesta un incremento similar al de la densidad; la viscosidad del biodiesel puro excede la viscosidad del ACPM en casi dos veces más (Figura 3). La mezcla B5% aumenta en 19%, B10% en un 22.29%, B20% en 42.6% y B100% en un 172% con respecto al ACPM. El aumento de la viscosidad genera una mejor lubricación en las partes mecánicas del motor, garantizando de esta forma la integridad del mismo. Sin embargo, los resultados de esta propiedad pueden llegar a ocasionar un problema porque los valores son tan elevados que pueden llevar a complicaciones en la atomización de inyectores del motor diesel, por esta razón no es recomendable considerar mezclas superiores a 20%.

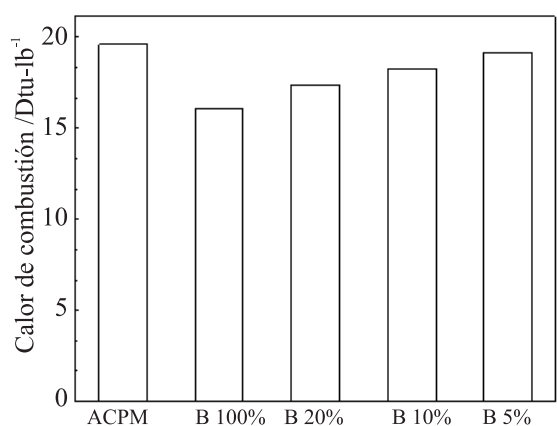
El índice de refracción presenta una disminución en las mezclas. La mezcla B100% y B10% disminuyeron en 0.55%, B20% en un 0.68%, y B5% en un 0.48% con respecto al ACPM. Esta disminución indica que la propagación de la luz en la muestra es característica de cada medio, además debido a su viscosidad en cada una de las mezclas la propagación de la luz en el refractómetro es menor.

El calor de combustión de las mezclas se determinó con una bomba calorimétrica, estos valores se compararon con el ACPM, generando una disminución, la mezcla B5% redujo en un

2.23%, B10% en 6.89%, B20% en 11.37% y B100% en un 18% (Figura 4). La síntesis de la capacidad calorífica es debida al poder calorífico de los aceites vegetales el cual es menor que el ACPM, y al realizarse la mezcla esta propiedad se mantiene. Por otra parte, el valor mostrado en la mezcla B5%, genera el mejor comportamiento con respecto a la potencia del motor contrario a la mezcla 100%, debido a la caída del poder calorífico.



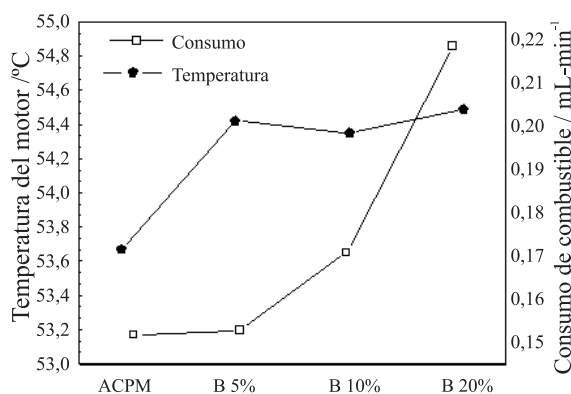
**Figura 3** Viscosidad del ACPM y las mezclas de biocombustibles



**Figura 4** Calor de Combustión del ACPM y las mezclas de biocombustibles

Debido a los valores de densidad, viscosidad y el calor de combustión generado para la mezcla de biocombustible del 100%, se determinó realizar

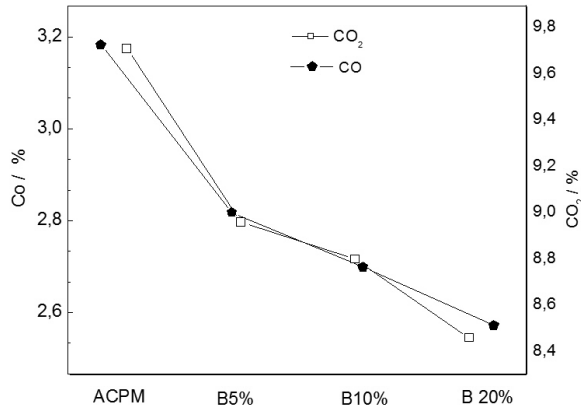
las pruebas de la segunda fase solamente con las mezclas de 5%, 10% y 20%. La temperatura en el motor con biodiesel y las mezclas se mantienen estables (Figura 5), con una temperatura constante del agua en el motor se mantiene estable y no afecta la integridad del motor. Por otra parte el consumo de combustible se ve afectado por la disminución del calor de combustión (Figura 5), por lo tanto el consumo de combustible de la mezcla B5% aumento en 0.65%, mostrando un comportamiento similar al hallado con el ACPM, la mezcla B10% incrementa su consumo en 12.33% y para B20% se incremento el consumo en 43.75%. Por lo tanto el porcentaje B20% es inviable por el sobre costo que implica emplear mayor combustible para generar la misma potencia.



**Figura 5** Temperatura del motor y consumo de combustible en función del ACPM y las mezclas de biocombustibles

Las emisiones se muestran en las figuras 6 y 7, se dividieron en monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxido de azufre e hidrocarburos. Para el monóxido de carbono se encontró una reducción en porcentaje, el monóxido de carbono en la mezcla B5% se redujo en 11.47%, en la mezcla B10% la reducción fue de 15.20% y la de B20%, fue hasta de 19.19%, estos resultados indican que el porcentaje de reducción esta relacionado con la cantidad de la mezcla de biodiesel utilizada en el ACPM. Para el CO<sub>2</sub> comparado con el diesel y con las mezclas se observan respuestas similares

a la obtenida en el monóxido de carbono. Este resultado del CO y el CO<sub>2</sub> es favorable ya que indica que las mezclas de combustible son más limpias que el diesel puro (100%).

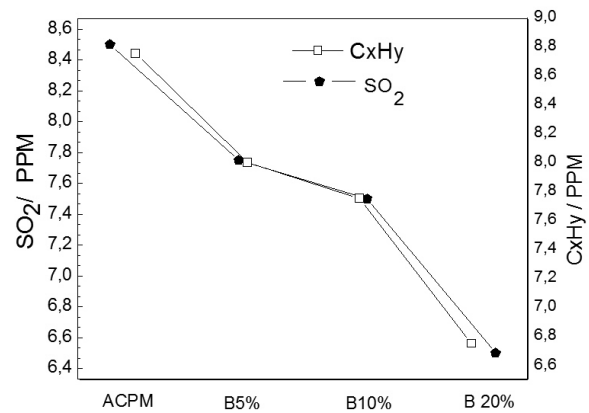


**Figura 6** Porcentajes de CO y CO<sub>2</sub> en función del ACPM y las mezclas de biocombustibles

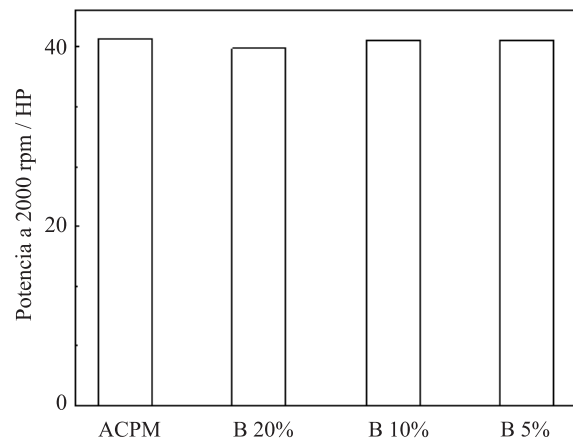
El óxido de azufre SO<sub>2</sub> (generado por la combustión) presentó una disminución con respecto al ACPM, debido a que el biodiesel no presenta compuestos de azufre en su composición química. Así mismo la cantidad de hidrocarburos (que no reaccionaron) disminuyeron notoriamente al ser comparados con el ACPM y se presenta cuando las mezclas aumentan la concentración de biodiesel suponiendo una mejor combustión debido al menor contenido de azufre a medida que se aumenta la mezcla. Los hidrocarburos C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> disminuyeron notoriamente comparados con el ACPM, esta deducción se encuentra relacionada directamente con el aumento de la mezcla, y se debe a que el biodiesel está libre de cadena aromática, éstos, al ser mezclados con el ACPM, generan una gran cantidad de hidrocarburos no quemados presentes en los gases de escape del motor, proceso por el cual disminuye en cada una de las mezclas y tras el análisis presenta una reducción máxima del 35.29% para la mezcla B20%,

En la figura 8 se observa la potencia entregada al generador por el motor diesel, obtiene una disminución del 0.14% para la mezcla B5%, 0,36% para la B10% y 2,39% para B20%, en

comparación con el ACPM. El rendimiento en el motor diesel no se ve alterado a nivel funcional cuando se utiliza el biodiesel de aceite de higuera, el motor presentó un arranque en frío igual que con el ACPM, la temperatura del agua se mantiene y su aceleración es similar al diesel.



**Figura 7** Emisiones de SO<sub>2</sub> y hidrocarburos en función del ACPM y las mezclas de biocombustibles



**Figura 8** Potencia del motor en función del ACPM y las mezclas de biocombustibles

## Conclusiones

Uno de los parámetros que determina si afectan al motor diesel en su rendimiento es la potencia entregada por el motor. Para esta prueba también se tuvieron en cuenta la aceleración y el encendido del motor; los resultados arrojados

en estos parámetros fueron adecuados ya que se comportaron de manera similar como cuando el motor trabajaba con ACPM. La potencia entregada del motor diesel al generador disminuye con cada una de las mezclas aplicadas, pero en un porcentaje muy bajo, el cual se estima que no afecta el funcionamiento del motor.

Después de las dos fases del estudio se concluyó que el biodiesel de aceite de higuera es una alternativa como sustituto parcial del diesel hasta una mezcla de biodiesel del B10% donde los resultados estadísticos obtenidos en las mezclas al B5% y B10% se comportan similarmente en potencia y consumo comparadas con el ACPM. Además de tener una importante contribución a la disminución en la contaminación al medio ambiente producida por los gases de combustión del motor diesel.

### Agradecimientos

Los autores del presente trabajo expresan su agradecimiento a la dirección de investigaciones de la Escuela Colombiana de Ingeniería – Julio Garavito.

### Referencias

1. J. W. Goodrum. "Volatility and boiling points of biodiesel from vegetable oils and tallow". *Biomass Bioenergy*. Vol 22. 2002. pp. 205-211.
2. C. E. Goering. "Fuel properties of eleven vegetable oils". *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers (ASAE)*. Vol. 25. 1982. pp. 1472 - 1483.
3. R. Altin, S. Cetinkaya, H.S. Yucesu. "The potential of using vegetable oil fuels as fuel for diesel engines". *Energy Convers Manage*. Vol. 42. 2001. pp. 529-38.
4. L. Louise. S. Sousa, L. Izabelly. L. Lucena, A.N. Fernández. "Transesterification of castor oil: Effect of the acid value and neutralization of the oil with glycerol". *Fuel Processing Technology*. Vol.91. 2010. pp. 194- 196.
5. B. K. Barnwal, M. P. Sharma. "Prospects of biodiesel production from vegetable oils in India". *Renew Sustain Energy Rev*. Vol 9. 2005. pp.363-378.
6. P. R. Muniyappa, S. C. Brammer, H. Noureddini. "Improved conversion of plant oils and animal fats into biodiesel and co-product" *Bioresour. Technol*. Vol. 56. 1996. pp. 19-24.
7. A. Benavides, P. Benjumea, V. Pashova. "El Biodiesel de aceite de higuera como combustible alternativo para motores biodiesel" *Dyna*. Vol. 154. 2007. pp. 141-150.
8. C. L. Barajas. "Obtención de biodiesel a partir de la higuera (*ricinus communis*)". *Ier Seminario Internacional de Biocombustibles*. Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá. 2004. pp. 64-69.
9. P. Benjumea, J. R. Agudelo, P. Zapata P. R. Mendoza. "Biodiesel: Una revisión del proceso de obtención mediante la transesterificación de aceites vegetales". *Revista Energética*. N.º 29. 2003. pp 9-18.
10. G. Antolin, F.V. Tinant, Y. Briceño, V. Castaño, C. Pérez, A. I. Ramírez. "Optimization of biodiesel production by sunflower oil transesterification". *Bioresour. Technol*. Vol. 83. 2002. pp. 111-114.
11. M. I. Widyan, A. O. Shyoukh. "Experimental evaluation of the transesterification of waste palm oil into biodiesel". *Bioresour. Technol*. Vol. 85. 2002. pp.253-256.
12. F. Ma, L.D. Clements, H.A. Hanna. "The effect of mixing on transesterification of beef tallow". *Bioresour. Technol*. Vol. 69. 1999. pp. 289-293.
13. B. Freedman, E.H. Pryde, T.L. Mounts. "Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils" *JAOCS*. Vol. 61. 1984. pp. 1638-1643.
14. K. Li. "Preparation of fatty acid methyl esters for gas-chromatographic analysis of lipids in biological materials". *JAOCS*. Vol. 71. 1994. 1179-1187.
15. ASTM D1298 99. "Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), or API Gravity of Crude Petroleum and Liquid Petroleum Products by Hydrometer Method". West Conshohocken. PA. *American Society for Testing and Materials*. 2005.
16. ASTM D445 09. "Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity)". West Conshohocken. PA. *American Society for Testing and Materials*. 2009.