

# Caracterización de las propiedades del biodiesel de girasol bajo la Norma NTC de 100/04 y medición de poder calorífico

## Characterization of parameters of sunflower biodiesel under the Standard NTC de 100/04 and heat of combustion measurements

Daniel Eduardo Arias Perez<sup>1\*</sup>, César Augusto Teuta Ramirez<sup>2\*</sup>, Jaime Parra Plazas<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Estudiante de Ingeniería Mecánica 10° semestre Universidad Libre sede Bosque Popular, Bogotá D.C. Colombia. \*danny1256@hotmail.com.

<sup>2</sup> Estudiante de Ingeniería Mecánica 8° semestre Universidad Libre Sede Bosque Popular, Bogotá D.C. Colombia. \*asratheavenger@gmail.com.

<sup>3</sup> Ingeniero Mecánico Magister en Ingeniería Mecánica, Docente Investigador de la Universidad Libre, Bogotá D.C. Colombia. \*jaiparra@gmail.com

Fecha de recepción del artículo: 12/10/2011 Fecha de aceptación del artículo: 10/11/2011

### Resumen

En este artículo se muestra la caracterización de los parámetros físicos y químicos del biodiesel obtenido a partir de Aceite de Girasol. El estudio se realizó bajo la norma NTC DE100/04 que cubre las especificaciones para los alquil esteres de ácidos grasos para uso como combustible en Colombia. También se presentan los resultados de cálculos de poder calorífico así como la comparación con el combustible diesel comercial utilizado en Colombia. Los resultados muestran el gran potencial del biodiesel de girasol como biocombustible con propiedades que cumplen con el estándar y poder calorífico dentro del promedio esperado para un Biodiesel.

### Palabras clave

Biodiesel de girasol, Propiedades del Biodiesel, Poder calorífico.

### Abstract

This article shows the characterization for physical and chemical parameters of biodiesel obtained from sunflower oil. This research was performed following the standard NTC DE100/04 which contains the standards for alkyl esters of fatty acids that will be used as combustible in Colombia.

Also it shows the results for heat of combustion measurements, as well as the comparative with commercial diesel produced in Colombia. The results show a great potential of sunflower biodiesel as fuel satisfying the standard and heat of combustion measurements in the biodiesel average.

### Keywords

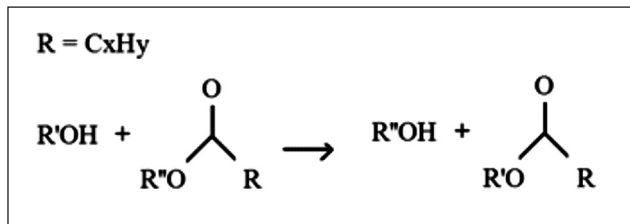
Sunflower Biodiesel, Heat of combustion, Fuel properties.

### 1. Introducción

El uso de aceites vegetales como fuente de combustibles alternativos ha incrementado debido a una reducción en las reservas petrolíferas y a las consecuencias ambientales causadas por emisiones de motores de combustión interna. Sumando a los esfuerzos para evitar el cambio climático e incitado por el considerablemente incremento en la demanda de ACPM que ha desplazado a la gasolina y gas en el transporte de carga y de pasajeros en la mayoría de naciones industrializadas y en vías de desarrollo [1, 2], la Universidad Libre promueve estudios en fuentes de energía alternativas, específicamente en el estudio de biodiesel, que es un biocombustible líquido, obtenido a partir de aceites vegetales provenientes de productos agrícolas como girasol,

soja, palma y higuera; con capacidad de ser sustitutos o formar mezclas con gasóleo con el fin de reducir los índices de contaminación.

El método más comúnmente empleado para la producción de biodiesel a partir de un aceite vegetal o grasa animal es la transesterificación [3, 4, 5]. Consiste en un intercambio molecular de subgrupos funcionales entre un éster, componente común de cualquier aceite vegetal, y un alquil de baja densidad, obteniendo cadenas de alquil-éster ( $C_xH_yO_2$ ) muy similares a la molécula del Diesel ( $C_{16}H_{34}$ ), excepto por el oxígeno que es liberado junto a los gases de combustión [6, 7]. También se obtiene glicerina como subproducto. La Figura 1 ilustra la reacción.



**Figura 1.** Reacción de transesterificación

Sin embargo las características físicas y químicas de un biodiesel difieren con respecto al aceite que se utiliza como fuente de producción. Por esto se han creado estándares de caracterización como la norma NTC DE100/04 que especifica los valores mínimos requeridos que definan la calidad del biodiesel obtenido, en el caso que nos concierne el biodiesel de girasol. El estándar también hace referencia al ASTM Vol. 5 donde se encuentran los procedimientos para realizar las pruebas físicas y químicas. Estas pruebas exigen equipos e instrumentos debidamente calibrados y certificados que garanticen los resultados obtenidos; por esto se recurre a un laboratorio particular en algunas de ellas.

Las pruebas que muestran las características físicas del biodiesel de girasol son densidad y viscosidad. La densidad es una propiedad fácil de medir o calcular, también es requerida en la mayoría de las

pruebas subsiguientes. El valor de viscosidad es de gran importancia para los motores que usarán biodiesel, ya que suele ser elevado respecto al diesel comercial [8], por lo que puede requerir un sistema más potente [5] u ocasionar problemas en los sistemas de inyección [9]; también en algunas máquinas el combustible participa en la lubricación de mecanismos como la bomba de inyección [8, 9].

El siguiente grupo de pruebas muestra la calidad del biodiesel obtenido. Iniciando con la prueba de metanol residual que ocasiona problemas de encendido en el combustible, así como promover la corrosión en juntas del sistema de inyección. Está en directa relación con el punto de inflamación, ya que un elevado porcentaje de metanol hace al biocombustible inflamable y peligroso al mantenerse almacenado. Por último el contenido de éster es el indicativo de la cantidad de moléculas que han reaccionado en la transesterificación, demostrando si la cantidad de metanol utilizada fue excesiva o insuficiente [10].

Las pruebas que muestran la pureza del biodiesel obtenido son: contenido de agua, glicerina (total y libre), sodio y potasio; para medir elementos y compuestos indeseables durante la combustión, debido a que forman depósitos, propician la corrosión y afectan el sistema de inyección [11, 12]. Mientras las pruebas de cenizas sulfatadas y carbón residual, que son específicas para cualquier combustible, indican la cantidad de estos compuestos que provocan desgaste en los elementos móviles del motor [11, 12].

Así mismo, las pruebas que permiten conocer el desempeño como combustible del biodiesel de girasol obtenido, comienzan por el número de cetano que es el que indica la calidad de combustión, junto al punto de niebla que revela a que temperatura el biodiesel empieza a formar cristales [5, 13] y si puede almacenarse en climas fríos [8, 13]. La última prueba se relaciona a una característica de los alquil ésteres quienes poseen gran capacidad de actuar como solvente, lo que se traduce en la capacidad de remover recubrimientos de protección a la

corrosión en diferentes componentes del sistema de combustible. La prueba de corrosión permite conocer si el biodiesel puede deteriorar los recubrimientos de algunos componentes o tanques de almacenamiento [11], indicando además la posibilidad de un ataque corrosivo por otros elementos formados durante el almacenamiento [14, 15].

Otra característica adicional al estándar mencionado es el poder calorífico, que expresa la energía por unidad de masa que libera la unión química entre un combustible y el comburente. En los biocombustibles el poder calorífico es en promedio 8% a 15% menor respecto al Diesel producido a partir del petróleo [8, 13].

El objetivo general del presente artículo es demostrar el potencial del biodiesel de girasol como una alternativa real y posible en nuestro país y contar con otra fuente de combustible alternativo que represente beneficios adicionales para la comunidad y el medio ambiente.

## 2. Metodología y procedimientos

Del estudio de documentación técnica y normativa, procesos de obtención de biodiesel [3] e investigaciones de biocombustibles [18, 19, 20]; se plantearon fases de desarrollo, que inician con la formulación y preparación de procedimientos, seguido de la ejecución de pruebas.

El aceite de girasol empleado es de fuente comercial, se definen cantidades adecuadas para una reacción de transesterificación. Se utilizan 110 ml de metanol (anhídrido, 100%, MERCK), y el proceso inicia al mezclarlo con 2,6 gr de hidróxido de sodio (hojuelas, pureza 99%, MERCK) como catalizador, formando metóxido de sodio, y se procede a mezclarlo con aceite de girasol precalentado a 40°C por 50 minutos. Se agita mientras sucede el intercambio, los ácidos grasos se reducen a glicerina y cadenas de éster. Estos últimos reaccionan con el metanol dando origen al biodiesel. La mezcla debe dejarse decantar por tiempo suficiente para facilitar la extracción de la glicerina.

## Densidad

Se utilizan densímetros de flotación, se debe puntualizar que la densidad de cualquier líquido varía considerablemente a diferentes temperaturas. Los densímetros normalmente están diseñados para medir la densidad de líquidos a una temperatura entre 15°C y 25 °C [21]; por esto al usar densímetros de flotación se debe tener constante control de la temperatura del biodiesel.

## Viscosidad

El cálculo de la viscosidad se realiza de acuerdo a la norma ASTM D445. Consiste en una prueba de laboratorio de comparación entre el biodiesel de girasol y el agua destilada. Se utiliza agua destilada, debido a que es un fluido con viscosidad conocida. Se miden los tiempos que tardan los fluidos en descender por el viscosímetro capilar. Se utiliza un viscosímetro de Ostwald en donde la fuerza impulsora es la gravedad [21].

## Corrosión

La prueba se realiza exponiendo alambres de cobre por un tiempo y temperatura específicos, al biodiesel puro que ha estado almacenado por al menos tres meses; la muestra se compara con un alambre de control y el patrón estándar de corrosión contenido en la norma ASTM D 130.

Las características físicas y químicas incluidas en la Tabla 1 comprenden los procedimientos normalizados por ASTM, ISO y CEN que especifican equipos necesarios para dicha medición así como reactivos, precauciones y recomendaciones necesarias con las muestras y resultados. Dichos equipos deben estar calibrados y certificados por los que se cuenta con la asistencia técnica del laboratorio ANTEK S.A.

## Poder calorífico

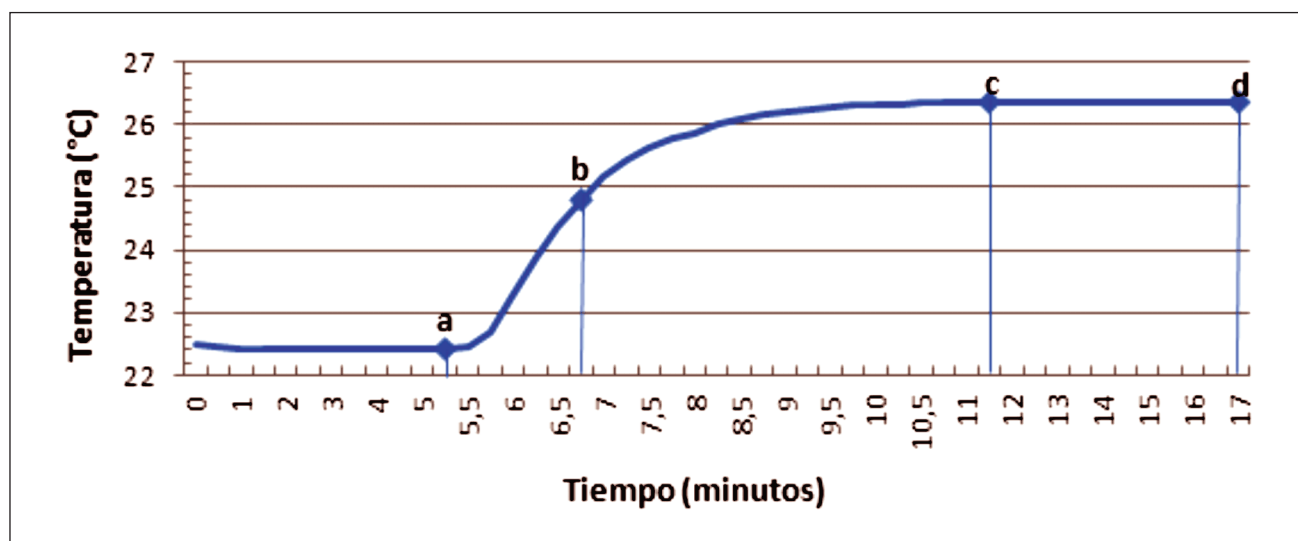
El poder calorífico se determina por prueba de laboratorio quemando una muestra del

**Tabla 1.** Propiedades físicas y químicas que involucran equipos estandarizados.

Propiedad	Ensayo	Descripción
Punto de inflamación	ASTM D93	Procedimiento para determinar el punto de inflamación en el rango de 40 a 360 °C empleando equipo Pensky-Martens, funcionamiento y preparación.
Metanol residual	ISO 14110	Método para determinar contenido de metanol residual en ácidos grasos.
Contenido de éster	EN 14103	Equipos, reactivos y procedimiento para determinar el contenido de alquil ester en ácidos grasos.
Contenido de agua	ASTM E203	Guía para determinar contenido de agua por titulación volumétrica de Karl Fisher, equipo y concentración de reactivos.
Glicerina libre Glicerina total	ASTM D6584	Determinación de glicerina libre y total en biodiesel B100 por cromatografía. Equipos, reactivos y materiales.
Sodio Potasio	ASTM D5863	Métodos para determinar contenido de Ni, V, Fe, K, Na por espectrometría absorción atómica (AAS). Instrumentos, reactivos y manejo de muestras.
Cenizas sulfatadas	ASTM D874	Métodos para determinación de cenizas sulfatadas. Muffla requerida y manejo de muestras.
Carbón residual	ASTM D4530	Determinación de carbón residual formado después de ser sometido a evaporación y pirolisis. Instrumentos y horno requeridos.
Numero de cetano	ASTM D613	Determinación del índice de cetano en combustibles diesel, dispositivo de combustión requerido y método empleado.
Punto de niebla	ASTM D2500	Equipo, instrumentos y reactivos para determinar punto de niebla en combustibles que son transparentes en capas de 40mm de espesor y con punto de niebla inferior a 49°C.

combustible y haciendo seguimiento a las variaciones de temperatura antes y después de la combustión en una bomba calorimétrica de oxígeno (PARR 1341)[22]. La Figura 2 muestra la curva característica obtenida a partir de las temperaturas registradas en una prueba con biodiesel de girasol. Se resaltan los puntos **a** que es el tiempo de encendido, **b** el tiempo (más

cercano a 0,1 minutos) donde la temperatura alcanza el 60% de la subida total, **c** el tiempo al principio del período (después de la subida de la temperatura) en el cual el índice del cambio de temperatura ha llegado a ser constante y **d** el registro a los cinco minutos posteriores en que el índice del cambio de temperatura ha llegado a ser constante.



**Figura 2.** Curva de incremento de temperatura.

Son necesarias correcciones termoquímicas en el valor de incremento de temperatura debido a la formación de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) y ácido nítrico ( $H_2NO_3$ ), los cuales se determinan por titulación, así como restar el calor que entrega el alambre fusible en el inicio de la combustión. Finalmente se calcula el calor bruto de la combustión [22].

### 3. Resultados y discusión

La Tabla 2 contiene los resultados obtenidos para las características físicas y químicas del biodiesel de girasol y ACPM (Diesel comercial).

Los valores de densidad fuera del estándar pueden ocasionar problemas de combustión, ya sean por ocasionar retrasos en la inyección y deteriorar el rendimiento del motor [23]. La estabilidad de temperatura ambiente en el laboratorio permite que las mediciones de densidad en biodiesel de girasol siempre se realicen a temperatura de 18°C. El resultado obtenido es mayor al medido en el diesel comercial. Así mismo, el promedio de viscosidad medido es superior al del diesel comercial; esto conduce al requerimiento de un sistema de inyección relativamente más potente para evitar problemas en la combustión ocasionado por la variación en el flujo de combustible [5].

Aunque el valor de densidad junto al de viscosidad no exceden el límite superior establecido y cumplen con el estándar, se sugiere no utilizarlo en B100.

Reuniendo las pruebas que definen la calidad del biodiesel se observa que la cantidad de metanol residual cumple con el estándar, incluso el valor es considerablemente bajo lo que indica que el metanol reaccionó casi en totalidad durante la transesterificación y asegura que el punto de inflamación del biodiesel cumpla con la norma como muestra el resultado. Se puede afirmar que la cantidad de metanol empleada en la transesterificación ha sido suficiente para cumplir con esta característica, así como se puede afirmar que el biodiesel de girasol es un combustible seguro al mantenerse almacenado en condiciones similares al diesel comercial [5]. Sin embargo el porcentaje medido de contenido de éster no cumple con el requerimiento de la norma lo que indica la reacción incompleta durante la transesterificación. Entre las posibles causas están una cantidad de metanol insuficiente, el escaso tiempo de reacción y/o baja temperatura de reacción [25, 26]. Entre los inconvenientes que ocasiona una reacción incompleta están el bajo número de cetano y altos porcentajes de glicerina que causan depósitos en los inyectores durante la combustión [11, 17]. La

**Tabla 2.** Características físicas y químicas del Biodiesel de girasol y ACPM.

Propiedad	Unidad	Requerimiento	Biodiesel G	ACPM
Densidad a 18°C	Kg/m <sup>3</sup>	860 - 900	884,0	850,0
Viscosidad a 40°C	mm <sup>2</sup> /s	1,9 – 6,0	5,03	2,36
Corrosión al cobre	Unidad	Clase 1	Clase 1	Clase 1
Numero de cetano	Cetanos	47 mínimo	45.55	43
Contenido de agua	% volumen	0,05	0,1992	0,005
Punto de inflamación	°C	120 mínimo	178,67	52
Metanol residual	% en masa	0,2 máximo	0,018	0
Cenizas sulfatadas	% en masa	0,02 máximo	0,0013	0,1014
Punto de niebla	°C	Reportar	3	-13
Punto de fluidez	°C	Reportar	7[17]	3
Carbón residual	% en masa	0,3 máximo	0,070	0,20
Contenido de éster	% en masa	96,5 mínimo	88,21	0
Glicerina Libre	% en masa	0,02 máximo	0,004	0
Glicerina Total	% en masa	0,25 máximo	1,694	0
Sodio	mg/lit	5,0 máximo	1,2	No disp.
Potasio	mg/lit		0,38	No disp.

glicerina se presenta en estado libre o junto a las moléculas de ácido graso que no se separan en la transesterificación. La glicerina libre es fácil de eliminar mediante lavados con agua caustica mientras que eliminar la glicerina de las moléculas puede requerir de una nueva reacción transesterificación, que resulta en un desperdicio de tiempo y recursos. Los valores registrados para glicerina libre cumplen con el estándar, sin embargo el valor registrado para glicerina total no cumple con lo exigido [26] al igual que los resultados de contenido de éster y número de cetano inferiores al exigido por el estándar. Adicionalmente el contenido de éster es excesivamente bajo al ser comparado con otros estudios de biocombustibles [17], por lo que se puede afirmar que es debido a una inadecuada reacción durante la transesterificación. Si se toma en cuenta el valor de metanol residual puede afirmarse que no se consiguió una reacción completa debido a un tiempo de reacción insuficiente y a la escasa cantidad de metanol [10, 27].

Al relacionar las pruebas que muestran la pureza del biodiesel, primeramente se observa que el valor medido de contenido de agua no cumple con la especificación. Es conocida la característica higroscópica de los alcoholes como el etanol y metanol [8]. Si el biodiesel no se encuentra almacenado en un recipiente adecuadamente sellado, este absorberá humedad del aire e incrementará los valores de esta medición [24]. Una excesiva concentración de agua puede provocar separación de fases en mezclas con diesel comercial [17], así como facilitar la corrosión y presencia de microorganismos que degraden el Biodiesel [23]. Sin embargo otras características como el contenido de sodio, contenido de potasio, cenizas sulfatadas y carbón residual, cumplen con el requerimiento de la norma; es evidente que estos elementos y compuestos no generarán depósitos adicionales [12], los valores también indican que el biodiesel de girasol formará menos de estos residuos durante la combustión respecto al diesel comercial [12]. En este aspecto se puede considerar como un combustible más limpio y no afectaran la vida útil de la máquina.

Finalmente las pruebas que catalogan el desempeño como combustible del biodiesel encontramos el número de cetano que si bien esta directamente afectado por la cantidad de metanol utilizado en reacción de transesterificación, es superior al del diesel comercial por lo que de ser usado en mezcla representa un beneficio para la combustión. En cuanto al comportamiento del combustible en características como corrosión al cobre arroja una clasificación obtenida según el estándar de corrosión ASTM D130 es 1C “ligeramente empañado” lo que traduce en que el biodiesel de girasol no provoca corrosión en ningún elemento del sistema de combustible además de los conocidos por el diesel comercial, también asegura q el Biodiesel puede estar almacenado por periodos de tiempo relativamente largos sin presentar cambios considerables [15, 23]. Así mismo los resultados de punto de fluidez y punto de niebla muestran valores de temperatura para estas características que indican las temperaturas a las que el biodiesel puede trabajar o almacenarse. Se conoce que los biodiesel tienen problemas en climas fríos o lugares donde se presentan estaciones de inviernos o temperaturas cercanas a 0°C, propiciando la formación de cristales, disminuyendo su fluidez e incrementando la viscosidad [9, 13]; esto hace necesario la utilización de aditivos para evitar este problema. Si consideramos que las temperaturas dentro de los trópicos son relativamente altas a los 0°C, se puede afirmar que el biodiesel de girasol no tendrá problemas al ser utilizado en Colombia.

## **Poder calorífico**

El valor calculado de calor bruto para el biodiesel de girasol es 16767 Btu/lb, al ser comparado con el valor medido en el diesel comercial 19386 Btu/lb se observa que es 13,5% inferior por lo que se encuentra dentro de los valores esperados [8, 12, 17]. Esta diferencia es compensada si se considera que los biodiesel de fuente vegetal tiene un número de cetano superior al diesel comercial [12].

## Conclusiones

Las propiedades del biodiesel de girasol son similares a las del diesel, exceptuando el valor de viscosidad cinemática, por lo que su uso en mezcla estandarizada (B5 o B10) con el diesel comercial [16] no debería presentar ningún efecto negativo respecto a su uso en cualquier motor tipo diesel, por lo que no se requiere hacer ninguna modificación en los diferentes sistemas.

Se concluye que la cantidad de metanol empleada en la reacción de transesterificación es escasa. Corregir esta cantidad, mejorará los valores de glicerina total, número de cetano y contenido de éster [25] para así cumplir con la especificación NTC DE 100/04.

Como cualquier biocombustible, el biodiesel de girasol destaca por sus bondades ambientales como son: proceder de una fuente renovable, contenido de azufre cercano a cero [5], contribuir en la búsqueda de sostenibilidad y fuentes alternativas de energía.

Se establecen puntos de partida para nuevas investigaciones como: efectos luego de las correcciones en la reacción de transesterificación; efectos al ser utilizado en mezclas como B5, B10, B50 o (B100) puro en motores Diesel instrumentados para medir reducciones de emisiones así como conocer el desempeño de la máquina y los efectos a corto y largo plazo.

## Referencias

1. Corredor A. G. (2009) "Tablero de comando" para la promoción de Biocombustibles en Colombia. Publicación de las Naciones Unidas, Santiago de Chile.
2. Grupo de Investigación en Combustibles Alternativos, Energía y Protección del Medio Ambiente (2009), Comparación de Emisiones de motores operados con Petrodiesel y Biodiesel, Revista Ingengerare, Vol:23 fascic:1, 13-20.

3. Hincapié G., Mondragón F., López D. (2011). Conventional and in situ transesterification of castor seed oil for biodiesel production, Elsevier, Fuel 90, 1618 - 1623.
4. Junhua Zhang, Shangxing Chen, Rui Yang, Yuanyuan Yan, (2010). Biodiesel production from vegetable oil using heterogeneous acid and alkali catalyst, Elsevier, Fuel 89, 2939 - 2944
5. Alptekin E., Canakci M. (2010). Characterization of the key fuel properties of methyl ester–diesel fuel blends. Elsevier. Fuel 88. 75 - 80.
6. Saleh H.E. (2011). The preparation and shock tube investigation of comparative ignition delays. Elsevier. Fuel 90. 421 - 429.
7. Šimáček P., Kubicka D., Kubicková I., Homola F., Pospíšil M., Chudoba J. (2011). Premium quality renewable diesel fuel by hydroprocessing of sunflower oil. Elsevier, Fuel 90, 2473 - 2479.
8. Rakopoulos D.C., Rakopoulos C.D., Papagiannakis R.G., Kyritsis D.C. (2011). Combustion heat release analysis of ethanol or n-butanol diesel fuel blends in heavy-duty DI diesel engine. Elsevier, Fuel 90, 1855 – 1867.
9. Pehan S., Jerman M.S., Kegl M., Kegl B. (2009). Biodiesel influence on tribology characteristics of a diesel engine. Elsevier, Fuel 88, 970 – 979.
10. UNIT (2005), Normas Técnica UNIT 1100: Biodiesel (B100) Combustible para mezcla con destilados medios de petróleo, UNIT, Montevideo Uruguay.
11. ICONTEC (2004) Norma Técnica Colombiana DE100/04 - Especificación para uso de biocombustibles en motores diesel, ICONTEC, Bogotá.
12. Kaplan C., Arslan R., Sürmen A. (2006). Performance characteristics of sunflower methyl ester as biodiesel. Energy Source, Volume 28, Issue 8, 751 – 755.

13. Breda Kegl. (2008). Biodiesel usage at low temperature. Elsevier, Fuel 87, 1306 – 1317.
14. Perry R. H. (2001), Manual del Ingeniero Químico, Mc Graw Hill, Bogotá D.C.
15. Karavalakis G., Stournas S., Karonis D. (2010). Evaluation of the oxidation stability of diesel/biodiesel blends. Elsevier, Fuel 89, 2483 – 2489.
16. ICONTEC (2006), Norma Técnica Colombiana NTC 5444 - Biodiesel para uso en motores diesel, ICONTEC, Bogotá D.C.
17. Randazzo M. L., Sodr  J. R. (2011). Exhaust emissions from a diesel powered vehicle fuelled by soybean biodiesel blends (B3–B20) with ethanol as an additive (B20E2–B20E5). Elsevier, Fuel 90, 98 – 103.
18. ASTM International (2004) American Society for Testing Materials, Sec 5 Petroleum products, Lubricants, and Fossil Fuels.
19. Espinosa O., Gutierrez J.C., Parra P. J. (2008), Estudio y caracterización de los parámetros físicos y químicos del aceite de soya como biocombustible bajo la norma NTC 1438, Universidad Libre, Colombia.
20. Freedman B., Butterfield R.O, Pryde E.H. (1986), Transesterification Kinetics of Soybean Oil, J. Am. Oil Chem. Soc. 63:1375-1380
21. Peña A. B., Céspedes J. M. (2000) Fisicoquimica - Manual de Laboratorio - 1ra Edición, Universidad de Medellín, Medellín.
22. PARR Instrument Company (2000), Manual de la bomba calorimétrica 204M, Illinois.
23. Torres J.E., Jerman M.S., Gregorc A., Lisec I., Dorado M.P., Kegl B. (2011). Physical and chemical properties of ethanol–diesel fuel blends. Elsevier, Fuel 90, 795 – 802.
24. Geller D.P., Adams T.T., Goodrum J.W., Pendergrass J. (2008). Storage stability of poultry fat and diesel fuel. Elsevier, Fuel 87, 92 – 102.
25. Ferella F., Mazziotti Di Celso G. De Michelis I., Stanisci V, Vegli  F. (2010). Optimization of the transesterification reaction in biodiesel production. Elsevier, Fuel 89, 36 – 42.
26. Benjumea P.N., Agudelo J. R., R os L. A. (2009), Biodiesel: Producción, Calidad y Caracterización, 1ra Edici n. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín.
27. Freedman B., Pryde E.H., Mounts T.L. (1984), Variables Affecting the Yield of fatty Esters from transesterified Vegetable Oils, Lbid. 61:1638-1643.