

# ANÁLISIS DE CALIDAD DE LOS BIOGASOLEOS DE ACEITE DE PALMA E HIGUERILLA

*Pedro Nel Benjumea<sup>1</sup>, Jhon Ramiro Agudelo<sup>2</sup>, Alirio Yovany Benavidez<sup>3</sup>*

## Resumen

El biodiesel es un combustible obtenido a partir de materias primas de base renovable como los aceites vegetales. El objetivo de este trabajo es realizar un análisis de calidad de dos tipos de biodiesel obtenidos a partir de materias primas disponibles en Colombia como es el caso de los aceites de palma e higuera. El biodiesel de aceite de palma cumple con la mayoría de especificaciones contempladas en las normas ASTM D975 y D-6751. La principal deficiencia técnica de este biodiesel es el alto punto de nube que resulta de su naturaleza química altamente saturada. Por su parte el biodiesel de aceite de higuera presenta más limitantes técnicas para su uso en motores diesel, dado su bajo índice de cetano y alta viscosidad.

**Palabras Clave:** aceites vegetales, biodiesel, normas de calidad.

## Abstract

Biodiesel is a fuel made from raw materials of renewable origin such as vegetable oils. The objective of this work is to make a quality analysis of two types of biodiesel made from raw materials available in Colombia such as palm oil and castor oil. Biodiesel from palm oil complies with the majority of technical requirements specified by ASTM standards D-975 y D-6751. A high cloud point is the main drawback of this kind of biodiesel. This is a consequence of its highly saturated chemical nature. On the other hand, biodiesel from castor oil presents more difficulties in order to be used in diesel engines because of having a low cetane index and a high viscosity.

**Key words:** vegetable oils, biodiesel, quality standards.

---

<sup>1</sup>Ingeniero de Petróleos, MSc en Ingeniería del Gas natural, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Facultad de Minas, Instituto de Energía. e-mail [pbenjume@unalmed.edu.co](mailto:pbenjume@unalmed.edu.co)

<sup>2</sup>Ingeniero Mecánico, PhD en Termoenergética, Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería, Grupo de Ciencia y Tecnología del Gas y Uso Racional de la Energía. e-mail [radian@udea.edu.co](mailto:radian@udea.edu.co)

<sup>3</sup>Ingeniero de Petróleos, Universidad Nacional de Colombia.

## 1. Introducción

El término biogasóleo o biodiesel se utiliza hoy en día para describir un combustible alternativo obtenido a partir de materias primas de base renovable, como los aceites vegetales, y que puede ser usado en motores de encendido por compresión o motores Diesel.

Dada la coyuntura actual del sector hidrocarburos en Colombia, caracterizada por una inminente pérdida del autoabastecimiento de petróleo en el corto plazo y por un creciente consumo del combustible diesel convencional o ACPM, existe un gran interés en el gobierno central por incentivar la producción de biodiesel. Con un plan nacional de fomento del uso del biodiesel de aceite de palma, además de diversificar la canasta energética nacional y evitar la importación de combustible diesel, se estarían creando las bases para el desarrollo de una industria oleoquímica basada en la agroindustria de la palma.

Paralelo al desarrollo de una ley que fomente la producción y utilización del biodiesel, se debe presentar en el país una amplia discusión sobre la calidad de este biocombustible con miras a establecer una norma técnica nacional. En este sentido el ICONTEC viene liderando el proceso a través de su comité técnico No. 186: Alcoholes Carburantes y Biodiesel.

Como parte de los objetivos de un proyecto cofinanciado por Colciencias e Interquim S.A. y ejecutado por la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad de Antioquia se logro la producción de varios lotes industriales de biodiesel de aceite de palma (Agudelo y Benjumea, 2003). El biodiesel obtenido fue probado en las ciudades de Medellín y Girardota en un motor en banco de ensayos, en una planta de emergencia y en un vehículo tipo Van.

Mediante un trabajo de grado realizado en el laboratorio de Crudos y Derivados de la Facultad de Minas se logro la producción a escala de laboratorio de un biodiesel obtenido a partir del aceite de higuera (Benavides, 2004). Dicho biodiesel fue probado en un motor en banco de ensayos en el laboratorio de Máquinas Térmicas de la Universidad de Antioquia.

En este artículo se analiza la calidad de los dos tipos de biodiesel mencionados en los párrafos anteriores.

Inicialmente, se comparan sus propiedades fisicoquímicas con las del diesel corriente comúnmente producido en el país y con las de un diesel bajo azufre obtenido a partir del crudo Cupiagua.

Posteriormente, se analiza hasta que punto el biodiesel Colombiano cumple con las especificaciones de calidad contempladas en las normas ASTM (American Society for Testing and Materials), tanto para combustibles diesel en general, como para el biodiesel.

Adicionalmente, se recomienda sobre que aspectos de la calidad del biodiesel de aceite de palma se debe seguir investigando, con miras a posibilitar su uso en las principales ciudades del país. La introducción de este nuevo combustible en el mercado requiere la aceptación y confianza por parte de los usuarios.

## 2. Naturaleza Química de los Combustibles Diesel

Las propiedades físicas de cualquier material son un reflejo de su naturaleza química. En esta sección se hace un paralelo entre la composición química del diesel de origen fósil y el biodiesel.

El petróleo crudo constituye la mezcla de hidrocarburos más compleja existente en la naturaleza. Además de hidrocarburos, el petróleo puede contener cantidades variables de sustancias consideradas como contaminantes, especialmente compuestos con átomos de azufre en su estructura.

El combustible diesel o gasóleo se obtiene fundamentalmente mediante el proceso de destilación atmosférica del petróleo. Existen otros procesos de refinación de tipo químico que contribuyen a incrementar el rendimiento de este combustible a partir de la ruptura de otras fracciones más pesadas del crudo. Normalmente, al combustible diesel antes de ser comercializado, se le debe someter a procesos de purificación como la desulfurización, y se le debe adicionar un paquete de aditivos con el objetivo de mejorar su desempeño en el motor.

Desde el punto de vista de su composición química, el diesel derivado del petróleo es una mezcla compleja de

hidrocarburos, normalmente, entre nueve y veintitrés átomos de carbono por molécula, lo que implica un intervalo de ebullición típico entre 180°C y 390°C (Chevron Products Company, 1998). Entre tales hidrocarburos se tienen altamente insaturados como los aromáticos, saturados cíclicos como los cicloalcanos y saturados lineales y ramificados como los alcanos.

En lo que respecta a las materias primas para la fabricación de biodiesel, la práctica común en los países pioneros de esta industria ha sido la utilización de aceites vegetales autóctonos. Un aceite vegetal está constituido principalmente por triglicéridos, los cuales son compuestos resultantes de la esterificación de la glicerina con tres moléculas de ácidos grasos. La glicerina constituye cerca de un 20% de la molécula de triglicérido y es la que le da al aceite su textura espesa y pegajosa. Para obtener el biodiesel, los ácidos grasos esterificados se deben separar de la glicerina mediante una reacción de transesterificación, solo así se logra reducir la alta viscosidad del aceite original para obtener una sustancia con una viscosidad similar a la del combustible diesel tradicional (Vicente et al, 2001).

En general, una reacción de transesterificación consiste en la transformación de un tipo de éster en otro. Cuando el éster original reacciona con un alcohol, la reacción de transesterificación se denomina alcoholisis. En el caso de la alcoholisis de un aceite, las moléculas de triglicéridos se combinan con un alcohol alifático de bajo peso molecular en presencia de un catalizador. Los productos de la reacción química son alquilésteres de los ácidos grasos del aceite y glicerina. Los alquilésteres una vez purificados constituyen el biodiesel.

De acuerdo con su naturaleza química, el biodiesel se puede definir como una mezcla de alquilésteres de ácidos grasos de cadena larga (doce a veinte átomos de carbono por molécula) saturados e insaturados con un intervalo de ebullición típico entre 300°C y 360°C (Grabosky y McCormick, 1998). El tipo y la concentración de alquilésteres presentes dependerán fundamentalmente del aceite vegetal seleccionado como materia prima y del tipo de alcohol utilizado en la reacción de transesterificación. El alcohol utilizado en la mayoría de las plantas de biodiesel actualmente en producción es el metanol.

Como resultado de su proceso de obtención y purificación, el biodiesel también podrá contener contaminantes como glicerina ligada (triglicéridos, diglicéridos y monoglicéridos), glicerina libre, alcohol, trazas de catalizador, agua y material insaponificable o gomas procedentes del aceite original. Todos estos compuestos indeseables deben estar en concentraciones muy bajas, de tal modo que no se afecte la calidad del biodiesel de cara a su utilización puro o mezclado con el diesel convencional.

### 3. Especificaciones De Calidad De Los Combustibles Diesel

Los motores diesel más utilizados en automoción son los de inyección directa de cuatro tiempos. En la etapa de admisión al cilindro solo entra aire, el cual luego es altamente comprimido. Para crear una mezcla inflamable, el combustible es inyectado directamente a los cilindros en forma de gotas muy finas. El inicio de la etapa de combustión no ocurre en el mismo instante en que el combustible entra en contacto con el aire, se requiere de un lapso de tiempo para que las moléculas del combustible se vaporicen y alcancen su temperatura de inflamación espontánea o de autoencendido. Después de la combustión, la masa de gases resultante se expande impulsando el pistón dentro del cilindro y generando la potencia necesaria que debe ser transmitida para poner en marcha el vehículo.

La tabla 1 corresponde a la norma ICONTEC 1438 que establece las especificaciones de calidad que debe cumplir el combustible diesel que se comercialice en Colombia. Dicha norma está basada en la ASTM D-975, la cual es más general, en el sentido que tiene en cuenta diferentes grados de combustible, de acuerdo con su aplicación específica. El diesel de automoción Colombiano o ACPM corresponde al grado 2D de la norma ASTM en mención. De otro lado, la tabla 2 corresponde a la norma ASTM D-6571, la cual fue adoptada en el año 2002 y contempla las especificaciones de calidad que debe cumplir un biodiesel para poder ser usado en mezclas con diesel convencional.

**Tabla 1.** Especificaciones de Calidad para el Diesel Corriente Colombiano

<b>DIESEL CORRIENTE (ACPM)</b>				
<b>NORMAS: ASTM D 975 / NTC 1438 (Norma Técnica Colombiana)</b>				
<b>PROPIEDADES</b>	<b>METODO ASTM</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>ESPECIFICACION</b>	
			<b>MINIMO</b>	<b>MAXIMO</b>
Azufre Total	D 4294	g/100g		0.45
Aromáticos	D 5186	m/100ml		35
Índice de Cetano	D 4737		45	
Corrosión al Cobre, 3h a 50 °C	D 130			2
Color ASTM	D 1500			3.0
Micro-Carbón Residual (10% fondos)	D 4530	g/100g		0.20
Gravedad API	D 4052	°API	Reportar	
Viscosidad Cinemática a 40 °C	D 445	mm <sup>2</sup> /s	1.9	5.0
Destilación	D 86			
Punto Inicial de Ebullición		°C	Reportar	
Temp. 50 % Destilado		°C		300
Temp. 90 % Destilado		°C		360
Punto final de Ebullición		°C		390
Agua y Sedimento	D 1796	ml/100ml		0.05
Punto de Fluidez	D 5949	°C		4
Punto de Inflamación	D 93	°C	52	
Cenizas	D 482	g/100g		0.01

**Tabla 2.** Especificaciones de Calidad para el Biodiesel

<b>BIODIESEL (B100)</b>				
<b>NORMA ASTM D-6751</b>				
<b>PROPIEDADES</b>	<b>METODO ASTM</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>ESPECIFICACION</b>	
			<b>MINIMO</b>	<b>MAXIMO</b>
Punto de Inflamación	D 93	°C	130.0	
Agua y Sedimentos	D 2709	% volumen		0.05
Viscosidad Cinemática a 40 °C	D 445	mm <sup>2</sup> /s	1.9	6.0
Cenizas Sulfatadas	D 874	% masa		0.02
Azufre	D 5453	% masa		0.05
Corrosión al Cobre 3h a 50 °C	D 130			3
Numero de Cetano	D 613		47	
Punto de Fluidez	D 2500	°C	Reportar	
Micro-Carbón Residual (10% fondos)	D 4530	% masa		0.05
Numero Ácido	D 664	mg KOH/g		0.8
Glicerina Libre	D 6584	% masa		0.02
Glicerina Total	D 6584	% masa		0.240
Contenido de Fósforo	D 4951	% masa		0.001
Destilación	D 1160			
Temperatura 90% Destilado		°C		360

Las especificaciones de calidad contempladas en la norma ASTM D-975 buscan garantizar que cualquier combustible para motores de encendido por compresión:

- Experimente una ignición espontánea y se quemé satisfactoriamente bajo las condiciones existentes en la cámara de combustión.
- Sea adecuadamente manejado por el equipo de inyección.
- Durante todo el ciclo, desde su producción hasta el tanque del vehículo, permita su manipulación sin experimentar degradación y sin perjudicar las superficies con las que entra en contacto.
- Provea buena economía desde el punto de vista energético.
- Permita un fácil arranque en frío. Además debe presentar buenas características de fluidez a bajas temperaturas.
- Provea bajas emisiones al medio ambiente

Un biodiesel además de cumplir los requerimientos de

**Tabla 3.** Caracterización Química de los Biogásóleos

Característica	Biodiesel de Aceite Crudo de Palma	Biodiesel de Aceite de Higuierilla
Cantidad de Metanol Utilizada en la Reacción.	12 moles alcohol/moles de aceite	9 moles alcohol/moles de aceite
Tipo de Catalizador	Hidróxido de Sodio	Hidróxido de Sodio
Cantidad de Catalizador Utilizado en la Reacción.	0.6 Porcentaje por masa	0.8 Porcentaje por masa
Acidez del Aceite	3.8% Porcentaje por masa	2.1% Porcentaje por masa
Composición Química	Porcentaje por masa	Porcentaje por masa
Metiléster de ácido Láurico	0.267	0
Metiléster de ácido Mirístico	1.434	0
Metiléster de ácido Palmítico	46.129	1.09
Metiléster de ácido Esteárico	3.684	3.10
Metiléster de ácido Oleico	37.466	4.85
Metiléster de ácido Linoéico	11.020	1.27
Metiléster de ácido Ricinoleico	0	89.6
Porcentaje de Esteres Saturados	51.514	4.19
Porcentaje de Esteres Insaturados	48.486	95.72

La cuantificación de los metilésteres fue realizada mediante la técnica del patrón externo usando un cromatógrafo Varian 3800 GC equipado con un

calidad generales esbozados arriba, debe cumplir con otros específicos contemplados en la norma ASTM D-6751 y que tienen que ver más con su pureza.

#### 4. Caracterización De Los Biogásóleos De Aceite De Palma E Higuierilla

Los dos tipos de biodiesel cuya calidad se analiza en este trabajo son el resultado de procesos de optimización, en los cuales se busca encontrar la cantidad de metanol y el tipo y cantidad de catalizador básico que permitan obtener el mayor rendimiento de la reacción de transesterificación (Agudelo y Benjumea, 2003).

La tabla 3 muestra las características de obtención y la composición química de los biogásóleos en mención.

materias primas se determinó mediante titulación ácido-base, utilizando un procedimiento adaptado por Cenipalma, en el cual se expresa la acidez del aceite como porcentaje en masa de ácido palmítico (Cenipalma, 1999).

En la tabla 4 se presentan los resultados de las pruebas para combustibles diesel disponibles en el laboratorio de Crudos y Derivados de la Facultad de Minas y que se le

realizaron a las muestras de los biogasóleos de aceite de palma e higuierilla. Adicionalmente, se contrastan los resultados con los obtenidos para una muestra de diesel corriente comprada en una estación de servicio y una muestra de un diesel con bajo contenido de azufre obtenida de la destilación del crudo Cupiagua y facilitada por el Instituto Colombiano del Petróleo, ICP.

**Tabla 4.** Principales Propiedades de los Combustibles Evaluados

PROPIEDAD	UNIDAD	NORMA ASTM	BIODIESEL PALMA	BIODIESEL HIGUERILLA A	DIESEL CORRIENTE E	DIESEL CUIAGUA A	
Densidad a 15°C	kg/m <sup>3</sup>	D 1298	868.8	925.13	865.12	841.8	
Índice de Cetano		D 976	57.0	38.0	50.0	52.0	
Punto de Inflamación	°C	D 93	162.3	84.3	62.3	99.3	
Poder Calorífico	MJ/kg	D 240	39.55	37.52	45.436	45.87	
Contenido de Azufre	% masa	D 129	No detectado	0.071	0.180	0.041	
Viscosidad Cinemática	mm <sup>2</sup> /s	D 445	4.67	14.89	4.66	3.8	
Punto de Nube	°C	D 94	18.0	-4.0	1.0	1.0	
Corrosión Lámina de Cobre		D 130	1 A	1 A	1 A	1 A	
Residuo Carbonoso Conradson		D 189	0.0085	<0.05	<0.1	<0.1	
Destilación	Punto Inicial	°C	D 86	319.1	204.3	182.0	232.8
	10% Destilado	°C	D 86	324.2	299.8	234.8	243.9
	20% Destilado	°C	D 86	326.2	317.1	256.1	251.0
	30% Destilado	°C	D 86	327.2	325.2	271.4	257.1
	40% Destilado	°C	D 86	328.2	329.3	285.1	263.2
	50% Destilado	°C	D 86	329.3	333.3	297.8	269.3
	60% Destilado	°C	D 86	330.3	336.4	308.9	277.5
	70% Destilado	°C	D 86	331.3	339.4	321.1	285.6
	80% Destilado	°C	D 86	333.3	342.5	335.3	298.8
	90% Destilado	°C	D 86	336.4	345.5	357.7	316.0
	Punto Final	°C	D 86	351.6	353.6	380.0	337.4

## 5. Análisis De Calidad

Para el análisis de calidad de los combustibles en estudio, inicialmente se realiza una comparación de las propiedades de los dos tipos de biodiesel, luego se contrastan las propiedades de los biogásóleos con las de los combustibles diesel derivados del petróleo, y finalmente se revisa el cumplimiento de las normas por parte de los biogásóleos.

### 5.1 Biodiesel de aceite de palma vs biodiesel de aceite de higuera

El biodiesel de aceite de palma posee un contenido de metilésteres de ácidos grasos saturados un poco mayor del 50%, constituyéndose en el biogásóleo más saturado de los que actualmente se usan a nivel mundial. Los biogásóleos de aceite de colza, girasol y soya poseen un contenido típico de metilésteres saturados del 7%, 12.5% y 16%, respectivamente (Zapata y Mendoza, 2003).

Por su parte el biodiesel de aceite de higuera se caracteriza por tener un alto contenido de metiléster del ácido ricinoleico, el cual es monoinsaturado, o sea, que presenta un solo enlace doble en la cadena. Además dicho biogásóleo posee un grupo hidroxilo en su estructura el cual le confiere en gran medida sus características específicas.

A mayor contenido de compuestos saturados, los cuales presentan puntos de solidificación cercanos a la temperatura ambiente, mayores dificultades de flujo en frío tendrá un combustible diesel. El punto de nube determina en forma empírica la temperatura a la cual se empiezan a formar cristales. En ese sentido el biodiesel de aceite de higuera presenta ventajas considerables con respecto al de palma.

En lo que respecta a sus características de volatilidad, el biodiesel de aceite de higuera, aunque posee un punto inicial de ebullición más bajo, presenta un punto final más alto y deja un residuo de destilación considerable. Adicionalmente, este biogásóleo es significativamente más denso y viscoso.

En general, el biogásóleo de aceite de palma posee mejores características como combustible diesel que el de higuera. Este último presenta deficiencias notorias en su calidad de ignición (muy bajo índice de cetano), y en su capacidad de liberar energía (bajo poder calorífico másico). Tales deficiencias limitan considerablemente la posibilidad de usar este biogásóleo puro en motores para uso vehicular.

### 5.2 Biogásóleos vs Diesel del petróleo

De acuerdo con los valores obtenidos para el índice de cetano, se puede afirmar que el biodiesel de aceite de palma posee una calidad de ignición comparable o mejor que la de los combustibles diesel. Aunque este hecho es ampliamente reportado en la literatura (Grabosky y McCormick, 1998), se debe tener en cuenta que el método para calcular dicho índice es de naturaleza empírica y fue desarrollado para combustibles compuestos por hidrocarburos.

Los valores del poder calorífico de los biogásóleos indican una diferencia apreciable respecto a los valores, tanto del diesel de crudo Cupiagua, como del diesel corriente. Tal diferencia expresada en unidades de energía por unidad de masa se suaviza un poco cuando se expresa en unidades de energía por unidad de volumen, dada la mayor densidad del biodiesel. De todas formas, es de esperar que con el uso del biodiesel, el motor normalmente pierda algo de potencia o incremente ligeramente su consumo de combustible (Pérez y Gómez, 2003).

Una de las mayores deficiencias de calidad del combustible diesel que se comercializa en Colombia es su alto contenido de azufre. El diesel corriente puede contener hasta 4500 ppm por masa de azufre (1800 en el combustible estudiado). Dado el alto nivel de contaminación del aire en la ciudad de Bogotá, allí se distribuye un diesel con un contenido de azufre de máximo 1500 ppm. De todas formas, estos niveles de contenido de azufre están todavía muy por encima de los exigidos en otros países.

Por su parte los biogásóleos prácticamente se pueden considerar libres de azufre, ya que la materia prima de la cual son obtenidos, por su origen biológico,

normalmente no posee cantidades detectables de dicho contaminante.

La figura 1 ilustra las curvas de destilación para los cuatro combustibles considerados. Dichas curvas muestran el rango de ebullición desde el punto inicial hasta la temperatura a la cual se ha evaporado el 90% del combustible. Los datos de destilación indican que el intervalo de ebullición es mucho más reducido para el biodiesel de aceite de palma que para los demás combustibles. Tal comportamiento refleja el hecho de que los metilésteres producidos a partir de los diferentes ácidos grasos presentes en los triglicéridos de dicho aceite, no son muy diferentes unos de otros, en

oposición a la amplia variedad de hidrocarburos presentes en el diesel de origen fósil, los cuales pueden poseer volatilidades muy diferentes.

Los altos valores del punto de inflamación y del punto inicial de ebullición son un indicativo de que el biodiesel obtenido posee una pureza aceptable, al no contener cantidades apreciables de metanol ni de agua. Adicionalmente, la obtención de un punto final de ebullición a presión atmosférica es un indicativo de la ausencia en el biodiesel de cantidades apreciables de moléculas de gran tamaño como los mono, di y triglicéridos.

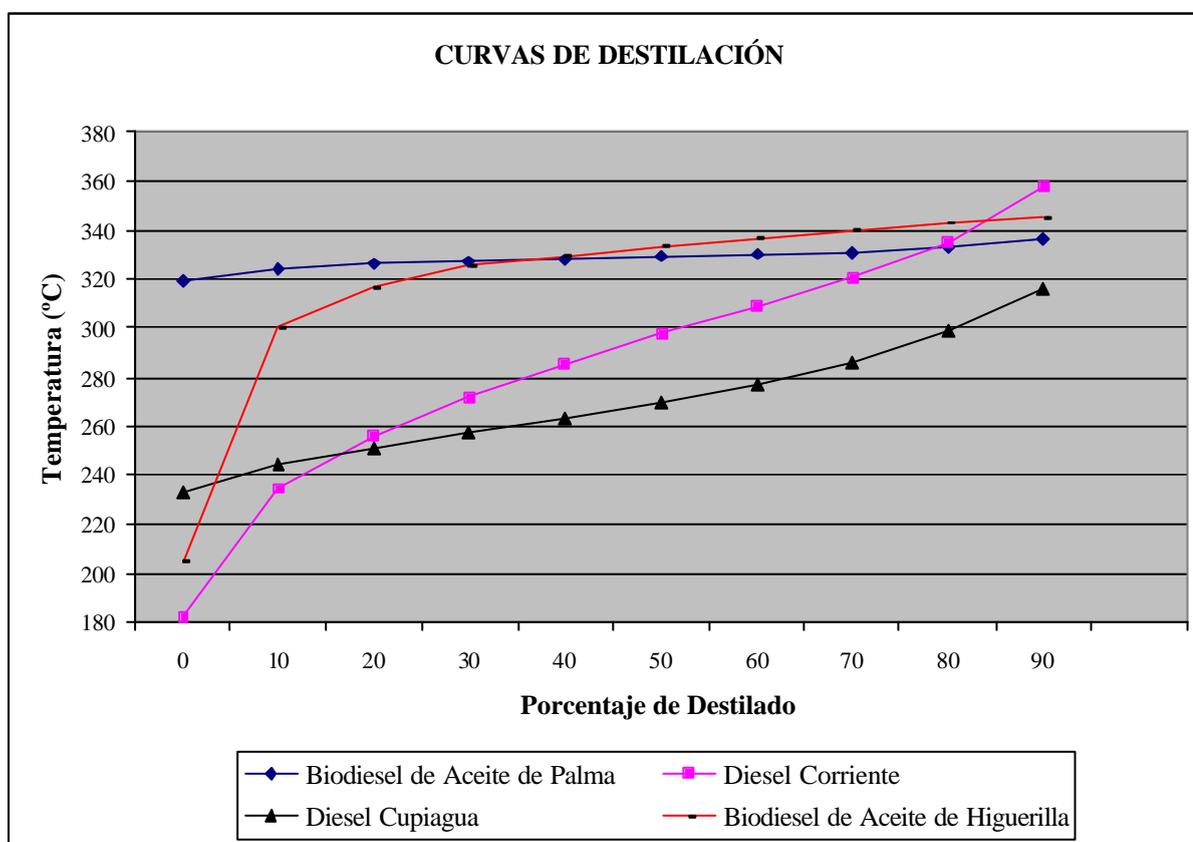


Figura 1. Curvas de Destilación para los Combustibles Estudiados

El biodiesel de aceite de palma presenta el punto de nube más alto. Esta característica es consecuencia de su alto contenido de metilésteres de ácidos grasos saturados (alrededor del 50%), los cuales por enfriamiento pueden llegar a cristalizarse. Como consecuencia de la formación de cristales se pueden bloquear los filtros y taponar las

líneas de combustible.

### 5.3 Revisión de las normas y recomendaciones

La tabla 5 indica cuales especificaciones de las normas ASTM D-975 y D-6751, cumplen o no, los biogasóleos

de aceite de palma e higuierilla. Adicionalmente se señalan cuales pruebas relevantes no fueron realizadas debido a las limitantes de disponibilidad de equipos.

A pesar de sus deficiencias de calidad, el biodiesel de aceite de higuierilla se puede usar mezclado con el diesel corriente en proporciones hasta de un 15% (B15), sin que la mezcla resultante se salga de las especificaciones de la norma ASTM 975 (Benavides, 2004).

Ambos tipos de biodiesel tienen una T90 (temperatura

correspondiente al 90% de destilado) mayor que 300°C, saliéndose de lo establecido en la norma ASTM 975. Para los combustibles diesel derivados del petróleo un valor alto de T90 esta asociado con la formación de humo, origen de mal olor, contaminación del lubricante y formación de depósitos. Hay que investigar si esta no conformidad de los biogasóleos con la norma puede afectar el desempeño del motor.

**Tabla 5.** Revisión del Cumplimiento de las Normas ASTM

ESPECIFICACIONES		BIOGASÓLEO	
		ACEITE DE PALMA	ACEITE DE HIGUERILLA
NORMA ASTM D-975	CUMPLE	Azufre Total Índice de Cetano Corrosión al Cobre Viscosidad Cinemática Destilación Temperatura 90% destilado Punto Final de Ebullición Punto de Inflamación Contenido de Cenizas Agua y Sedimento	Azufre Total Corrosión al Cobre Destilación Temperatura 90% destilado Punto Final de Ebullición Punto de Inflamación Contenido de Ceniza Agua y Sedimento Puntos de Nube y Fluidez
	NO CUMPLE	Destilación Temperatura 50% destilado Puntos de Nube y Fluidez	Destilación Temperatura 50% destilado Índice de Cetano Viscosidad Cinemática
	NO MEDIDA	Micro-Carbón Residual	Micro-Carbón Residual
NORMA ASTM D-6751	CUMPLE	Punto de Inflamación Agua y Sedimentos Viscosidad Cinemática Azufre Corrosión al Cobre Destilación Temperatura 90% destilado	Punto de Inflamación Agua y Sedimentos Punto de Fluidez Azufre Corrosión al Cobre Destilación Temperatura 90% destilado
	NO CUMPLE	Punto de Fluidez	Viscosidad Cinemática
	NO MEDIDA	Cenizas Sulfatadas Número de Cetano Micro Carbón Residual Número Ácido Glicerina Libre Glicerina Total Contenido de Fósforo	Cenizas Sulfatadas Número de Cetano Micro Carbón Residual Número Ácido Glicerina Libre Glicerina Total Contenido de Fósforo

Sin ninguna duda, la mayor deficiencia de calidad del biodiesel de aceite de palma son sus altos puntos de nube y fluidez. El punto de fluidez es la temperatura a la cual la formación de cristales ha sido tan masiva, que si se coloca el fluido en un tubo de ensayo en posición

horizontal, no se presenta flujo. Por lo tanto, dicho punto corresponde a una temperatura más baja que la correspondiente al punto de nube. En las normas Europeas para gasóleos y biogasóleos, en vez de los puntos de nube y fluidez, se utiliza otra prueba que trata

de simular condiciones dinámicas y se denomina prueba de obstrucción de filtros en frío (POFF).

A pesar de las bondades técnicas y ambientales que puede ofrecer el uso del biodiesel de aceite de palma, la deficiencia de calidad inherente asociada a sus propiedades de flujo en frío, podría limitar enormemente su aplicación en climas fríos. De tal modo, que su uso como combustible puro (B100) no sería recomendable en ciudades Colombianas ubicadas a grandes alturas como Bogotá, en la cual se consume un alto porcentaje del combustible diesel que se produce en el país.

La mejor opción para impulsar el desarrollo de una industria nacional de biodiesel basada en el aceite de palma es promover la utilización de sus mezclas con diesel convencional, utilizando proporciones de biodiesel que no afecten en forma significativa las propiedades de flujo en frío del diesel del petróleo. Se requiere investigar hasta que proporción de biodiesel pueden admitir tales mezclas sin que se presenten dificultades operacionales en un escenario de temperaturas dado. Si hacia el futuro se considera el uso de mezclas con alto contenido de biodiesel o inclusive el uso del biodiesel puro, será necesario encontrar alternativas viables técnica y económicamente que permitan mejorar las propiedades de flujo en frío de este biocombustible estratégico para diversificar la canasta energética nacional.

Entre las diferentes alternativas posibles se podrían considerar:

- Remover del biodiesel los alquilesteres con mayor tendencia a la solidificación. Lo anterior se logra induciendo la formación de cristales por enfriamiento y separándolos luego de la fase líquida por filtración. El proceso anterior se conoce comúnmente en la industria de los aceites comestibles como “winterización”.
- Preparar mezclas de alquilesteres obtenidos a partir de diferentes materias primas. Sería muy interesante ensayar con mezclas de los dos biogaseos estudiados, pues precisamente las mayores fallas del de higuera constituyen los meritos del de palma y viceversa. El biogaseo de aceite de higuera, dado su carácter insaturado presenta excelentes características de flujo en frío.

- Preparar alquilesteres utilizando en la reacción de transesterificación alcoholes de cadena ramificada, lo cual conduce a compuestos con menor tendencia a la solidificación que los obtenidos con alcoholes lineales. Hay que tener en cuenta que la transesterificación con alcoholes de cadena corta y lineal presenta menos dificultades técnicas (Nimcevic et al, 2000). El metanol es el alcohol utilizado en la mayoría de las plantas de biodiesel existentes en el mundo.
- Utilizar aditivos que mejoren las propiedades de flujo en frío de los alquilesteres.

Si bien, el biodiesel de aceite de palma cumple con la especificación relacionada con el valor puntual de la viscosidad cinemática a 40°C, se recomienda estudiar como es la variación de la viscosidad con temperatura para este biogaseo, pues tal patrón de variación puede afectar el desempeño de los inyectores.

## 6. Conclusiones

- Por su alta viscosidad y bajo índice de cetano, el biogaseo de aceite de higuera no se debe usar puro en motores para vehículos.
- El biodiesel de aceite de palma Colombiano cumple con la mayoría de las especificaciones establecidas en las normas ASTM para combustibles diesel.
- La principal deficiencia de calidad del biodiesel de aceite de palma es su alto punto de nube.
- Se requiere mejorar la caracterización química de los biogaseos estudiados en lo que tiene que ver con su pureza.

## Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a las siguientes entidades:

- COLCIENCIAS e Interquim S.A. por la cofinanciación al proyecto de investigación 1115-06-12252.
- Laboratorio de Crudos y Derivados por facilitar sus instalaciones para del desarrollo de las pruebas de laboratorio.

## REFERENCIAS

- AGUDELO, J. R. y BENJUMEA, P. Optimización del Proceso de Obtención de Biodiesel de Aceite de Palma. Memorias del Proyecto de Investigación COLCIENCIAS 1115-06-12252. 2003.
- BENAVIDEZ, A. Y. Biodiesel de Aceite de Higuera: Aspectos de su Obtención y Utilización. Trabajo de Grado (Ingeniero de Petróleos) Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Facultad de Minas. 2004.
- CENIPALMA. Manual de Laboratorio Plantas de beneficio Primario para Fruto de Palma de Aceite. 1999.
- CHEVRON PRODUCTS COMPANY. Diesel Fuels Technical Review. 1998.
- GRABOSKY, M. and McCORMICK, R. Combustion of Fat and Vegetable Oils Derived Fuels in Diesel Engines. En Prog. Energy Combust. Sci., Vol. 24. 1998. pp 125-164.
- NIMCEVIC *et al*, Preparation of Rapeseed Oil Esters of Lower Aliphatic Alcohols. En JAOCS, 2000. pp 1638-1643.
- PÉREZ, J. F. y GOMEZ, E. Caracterización del Comportamiento Mecánico y Ambiental del Ester Metílico de Aceite de Palma, Utilizado como Combustible para Motores Diesel. Trabajo de Grado (Ingeniero Mecánico) Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Facultad de Minas. 2003.
- ZAPATA, P. y MENDOZA, R. Obtención de un Biocombustible mediante la Transesterificación del Aceite de Palma con Metanol. Trabajo de Grado (Ingeniero Químico) Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Facultad de Minas. 2003.