

## EVALUACIÓN DE LA PURIFICACIÓN DE BIODIÉSEL EN LA ETAPA FINAL DE PRODUCCIÓN

Mary Flor Césare C., Liliana Castillo<sup>1</sup>, Víctor Beteta A.<sup>1</sup>, José Luis Calle M.<sup>1</sup>,  
Juan José León C.<sup>2</sup>

### RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se ha evaluado la purificación del biodiésel en la etapa final de su producción. El biodiésel fue elaborado a partir de los aceites de soya (cruda y RBD) y de palma (cruda y RBD), cuyos índices de acidez se determinó antes del procesamiento. En la producción de biodiésel (trans-esterificación), además de los productos principales (los nuevos ésteres metílicos), también se obtienen algunos compuestos indeseables (jabones, glicerol, etc.) que deben ser eliminados por lavado, ya que su presencia es perjudicial para los motores y para el medio ambiente. El proceso tradicional de lavado y posterior secado se ha modificado variando la temperatura de lavado y, en vez de hacerlo con agua fría, se hizo con agua a 90° C. La calidad de los combustibles obtenidos (con las diferentes materias primas y tipos de lavado) fue evaluada a través del índice de acidez y los contenidos de: glicerol (libre y total), jabones (métodos AOCS). Se determinó que el lavado con agua caliente es más eficiente que el tradicional lavado con agua fría, por los bajos valores de: índice de acidez, contenido de jabones y de glicerol. Con el lavado con agua caliente, los biocombustibles obtenidos a partir del aceite de soya (cruda y RBD) cumplen con todas las exigencias de la Norma Técnica Peruana del Biodiésel B100 NTP 321.125.2007 y las normas internacionales como la ASTM y la norma Europea NE, pero los obtenidos a partir de aceite de palma (cruda y RBD) exceden ligeramente el porcentaje de glicerol total establecido en las normas técnicas indicadas.

**Palabras clave:** Energía, energías renovables, biocombustibles, biodiésel, medio ambiente.

## BIODIESEL PURIFICATION ASSESSMENT AT ITS FINAL PRODUCTION STAGE

### ABSTRACT

In this research, an alternate biodiesel purification method was assessed at its final production stage. Biodiesel was made from soybean and palm oils (crude oil and RBD), whose acidity indexes were measured after processing oils. In this purification process, (oil transesterification), main derivatives (methyl esters) and secondary derivatives (soaps, glycerol) were produced; the latter had to be eliminated by washing, because of their detrimental effects on combustion engines and the environment. The traditional wash and dry process was modified by increasing the washing temperature, using water at 90°C. The biodiesel derivatives quality was evaluated by measuring their acidity, glycerol (free and total) and soap content (AOCS methods). The hot water washing method produced better products, indicated by lower acidity indexes and lower contents of soaps and glycerol. Soybeans biofuels using

<sup>1</sup> Laboratorio de Energías Renovables (LER). Facultad de Ingeniería Agrícola de la UNALM.

<sup>2</sup> Departamento de Química. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Agraria La Molina. Av. La Molina s/n La Molina. Lima – Perú, <flormaryc@gmail.com>

hot water washing met all the requirements of the Peruvian Technical Standard NTP B100 Biodiesel 321.125.2007 and international standards such as ASTM's and EN's; however palm biofuels obtained using hot water washing exceeded slightly the total glycerol percentage established in the above mentioned standards.

**Key words:** Energy, renewable energies, biofuel, biodiesel, environment.

## INTRODUCCIÓN

El proceso de producción de biodiésel es sencillo y conocido por lo que existen productores a pequeña escala que lo producen en condiciones rudimentarias y no realizan los procesos de purificación adecuados, lo que redundará en su baja calidad como combustible.

Recordemos que el biodiésel se obtiene a partir de aceites vegetales o grasas animales por medio de una reacción de trans-esterificación, que consiste en que los componentes naturales de las grasas y aceites (triglicéridos) son transformados en otros ésteres más simples, al ser tratados con metanol u otro alcohol sencillo en condiciones adecuadas. Es decir, se transforman ésteres del glicerol en ésteres del metanol<sup>1</sup>.

Una vez que la reacción se ha completado, existen dos productos principales, los ésteres metílicos y la glicerina, los que pueden ser separados por gravedad por ser inmiscibles y de diferente densidad. En los procesos discontinuos ("batch") se necesitan largos periodos de decantación (más de 12 horas) mientras que en los procesos continuos normalmente se hace por centrifugación. Si la decantación no se hizo el tiempo suficiente o la centrifugación no fue efectiva, la glicerina remanente puede separarse después de un tiempo, formando una fase marrón oscura en el fondo que arrastra las impurezas solubles en ella (especialmente los jabones formados en el proceso). Luego, se inicia la purificación del biodiésel mediante el lavado, el cual es de suma importancia debido a que en esta etapa se retira las impurezas como: trazas de glicerol, jabones, ácidos y humedad, que no se eliminaron en la etapa anterior. Se lava con un 20% de su peso de agua, se seca y se envía a almacenamiento. Este proceso da como resultado un éster de una pureza del 98% que puede utilizarse como combustible.

La etapa de lavado es fuertemente afectada por el nivel de ácidos grasos libres. A mayor cantidad de éstos, mayor formación de jabones y, por consiguiente, será necesaria mayor cantidad de agua de lavado para su eliminación. Pero, a mayor cantidad de agua, ésta puede reaccionar con el biodiésel mediante una reacción en cadena que origina la formación de más jabón, produciendo una disminución del rendimiento.

El lavado tradicional utiliza 3 a 4 lavados con agua fría, los que son insuficientes para retirar todas las impurezas. La mayor eficiencia del lavado con agua caliente se observa desde el primer lavado. Se realizan 2 a 3 de ellos, ya que al tercer lavado la concentración de impurezas se mantiene constante. A pesar de ser prácticamente insoluble en el biodiésel, siempre quedan restos de agua, lo que le da un aspecto opaco al producto. La cantidad de agua retenida aumenta considerablemente si hay presencia de jabones, ya que éstos provocan emulsiones de difícil separación, por lo que los restos de agua se eliminan por secado.

La presencia de estas impurezas en el producto final perjudica el combustible ya que causan dificultades en el funcionamiento de los motores. Por eso, las normas contemplan límites claros para las impurezas y siempre hay que tener en cuenta la procedencia y calidad del combustible que se utiliza. Ello es más importante aún si el biodiésel se va a utilizar en forma pura, aunque generalmente se lo utiliza mezclado con el diésel (gasoil) convencional en diferentes proporciones.

Se ha revisado la Norma Técnica Peruana del Biodiésel B100<sup>2</sup> (N.T.P.) y las normas internacionales: norma americana ASTM<sup>3</sup> y la Norma Europea<sup>4</sup>. Todas coinciden al establecer

como contenido máximo del biodiésel: 0,23% de glicerol total, 0,02% de glicerol libre y que su índice de acidez no debe exceder de 0,8. Sin embargo, no contemplan límite para el contenido de jabones. Estos valores son los que tomaremos en cuenta para evaluar los combustibles obtenidos.

En nuestro país, la actual ley establece como meta para el año 2009 la inclusión de un 2% de biodiésel en todo el diesel-2 (gasoil) comercializado en el territorio y, para el 2011 este porcentaje aumenta a 5%. Si se respetan los parámetros técnicos, su uso tiene varias ventajas desde el punto de vista mecánico y medioambiental y no representa riesgo alguno para los equipos y motores.

### PARTE EXPERIMENTAL

La investigación se realizó en los Laboratorio de Energías Renovables (LER) de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la UNALM y en los laboratorios del Departamento de Química de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

#### Materias primas e insumos:

- Aceites de soya y de palma (crudo y refinado o RBD) de procedencia: Industrial Alpamayo.
- Metanol (grado industrial) al 95% v/v (CIATEX)
- Hidróxido de potasio (KOH) en escamas al 90% p/p (CIATEX).

#### Metodología

Antes del proceso de producción de biodiésel, se procedió a evaluar el estado inicial de todas las muestras de aceites vegetales (crudos y refinados), utilizándose el índice de acidez para poder calcular la cantidad de catalizador a utilizar. Tickell<sup>5</sup> indica que el aceite se debe valorar para determinar los miligramos de hidróxido de potasio necesarios para neutralizar los ácidos grasos libres de un gramo de aceite usado.

#### Determinación de la cantidad de catalizador KOH

Usamos la ecuación de Tickell<sup>5</sup>:

$$Y = X + 9^{(6)}$$

Y: Cantidad (g) de KOH a utilizar como catalizador para 1 litro de aceite.

X: mL de solución de KOH 0,1% (p/v) consumidos por el aceite para neutralizar los ácidos grasos libres de 1 g de aceite.

<sup>(6)</sup> Cantidad estándar de KOH recomendada para la transesterificación de un litro de aceite vegetal limpio.

Por ejemplo, si se han utilizado 2,22 mL de solución de KOH 0,1% (p/v) para la neutralización de los ácidos grasos libres de 1 g de aceite (X), aplicando la ecuación de Tickell, la cantidad de KOH que se debe utilizar como catalizador para 1 L de aceite será: 11,22 gramos (Y).

#### Producción del biodiésel

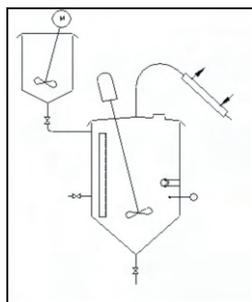
A nivel laboratorio se realizó la producción mediante el proceso alcalino, utilizando el reactor piloto ubicado en el Laboratorio de Energías Renovables LER (figura 1) y con los parámetros indicados en la tabla 1:

**Tabla 1.** Parámetros usados en la elaboración de biodiésel

Parámetro	Valor promedio
Cantidad de aceite	45 kg
Temperatura de reacción	60° C
Tiempo de reacción	02 h
Cantidad de metanol	17 – 18%
Cantidad de catalizador (KOH)	0,1 a 1,5%
Tiempo de decantación	24 h

El proceso productivo se realizó de la siguiente manera:

- El aceite se coloca en el reactor donde es pre calentado hasta 50° C.
- Paralelamente, en el tanque superior se mezcla el 18% v/v de metanol<sup>6</sup> con el catalizador alcalino, (el que debe ser pesado rápidamente para protegerlo de la humedad y dióxido de carbono de la atmósfera) en las proporciones adecuadas, agitando vigorosamente. Una vez disuelto todo el catalizador, el KOH disuelto se ha convertido a metóxido de potasio.

**Figura 1.** Reactor usado en el procesamiento.

- Esta mezcla se adicionó al aceite y se empezó la reacción. La mezcla final se mantuvo a la temperatura de 60°C<sup>7</sup> (el punto de ebullición del metanol es 64,7°C) y con agitación constante por un tiempo aproximado de 2 horas.
- Después del tiempo indicado se observó la separación de dos fases líquidas: una fase superior (biodiésel) y otra inferior de color oscuro y alta viscosidad (glicerina).
- Se dejó en reposo por 12 horas para una completa separación de las fases.
- Se midió la cantidad de biodiésel y de glicerina obtenidos para determinar el rendimiento y la eficiencia de la reacción<sup>7</sup>.
- Este elaborado, a partir de cada materia prima, fue rotulado y almacenado en baldes plásticos de 20 kg de capacidad para los análisis y pruebas correspondientes. Las muestras de biodiésel sin tratamiento se utilizarán como muestras control.

### **Lavados con agua fría**

- Una vez separada la glicerina, agregar a la pera de separación con el biodiésel crudo, el 20% de su volumen de agua.
- Agitar constantemente unos 30 segundos y dejar decantar, hasta que se diferencien bien las dos fases. Se observa la formación de pequeñas trazas de jabón, debido a reacciones paralelas que ocurren durante el proceso de trans-esterificación por las pequeñas cantidades de agua en el sistema.
- Abrir la llave de la pera y retirar el líquido blanquecino.
- Se repite el proceso hasta que el agua salga lo más clara posible (tres lavados).

### **Lavados con agua caliente**

- Agregar el biodiésel crudo a un vaso de precipitados.
- Calentar la muestra en baño María a unos 60° con constante agitación.
- Agregarle a la muestra el 20% de su volumen de agua caliente.
- Mantener por 15 minutos en el baño María (a 90° C) con constante agitación.
- Transferir todo a una pera de separación y agitar vigorosamente. Abrir la llave de la pera para expulsar los gases generados. Repetir este proceso unas 3 a 4 veces.
- Dejar decantar hasta observar que las dos fases estén bien definidas. Separar la capa acuosa (conteniendo los jabones) del biodiésel<sup>8</sup>.
- Se repite el proceso para que el agua salga más clara (dos lavados).

### **Secado del biodiésel**

- Colocar el biodiésel lavado en un vaso de precipitados de un litro.
- Calentarlo en plancha eléctrica a 100° C, hasta que el biodiésel deje de crepitar y tome un color brillante y traslúcido<sup>8</sup>.

### **Métodos de control**

Todas las muestras de biodiésel purificado fueron analizadas por triplicado mediante los siguientes métodos de control (Métodos de la AOAC y AOCS):

- Glicerol total y glicerol libre. Método yodométrico del ácido peryódico<sup>9</sup>.
- Determinación de jabones<sup>10</sup>.
- Índice de acidez<sup>11</sup>.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Análisis de la materia prima y producción de biodiésel**

En la tabla 2 se presentan los índices de acidez obtenidos con las distintas materias primas utilizadas, así como las cantidades utilizadas de materia prima, de catalizador y el rendimiento obtenido en cada una de ellas.

Como se puede observar, existe una diferencia significativa entre los índices de acidez de los aceites: los aceites crudos tienen índices de acidez mayores que los aceites refinados, lo que significa una mayor cantidad de ácidos libres. Estos valores se encuentran en el rango normal para cada tipo de aceite.

**Tabla 2.** Análisis de la materia prima y producción de biodiésel: índices de acidez, cantidades usadas y rendimiento de biodiésel

Características:	Aceite de soya		Aceite de palma	
	Crudo	RBD	Crudo	RBD
Índice de acidez	2,22	0,16	4,13	0,27
Cantidad de aceite (kg)	45,5	45	45,5	45
Cantidad de metanol (L)	9,0	9,0	9,0	9,0
Cantidad de catalizador (kg KOH)	0,50	0,408	0,693	0,413
Porcentaje de catalizador (% KOH)	1,10	0,91	1,52	0,91
Biodiésel crudo obtenido (kg)	40,0	44,18	38,9	43,6
Rendimiento de biodiésel crudo (%)	87,9	98,17	85,49	96,8
Peso de glicerina recuperada (kg)	10,59	7,19	11,58	7,59
Rendimiento de glicerina (%)	23,3	15,98	25,45	16,87

Como se observa en la tabla 2 los mayores rendimientos de biodiésel (96,6 – 98,17%) se logran cuando se utiliza como materia prima aceites refinados, mientras que con aceites crudos los rendimientos disminuyen a 85,49 – 87,9%. El menor rendimiento se obtuvo con el aceite crudo de palma (85,49), probablemente, debido a que este presentó el mayor índice de acidez.

#### Análisis del biodiésel obtenido a partir de aceites de soya

En la tabla 3 se presentan los resultados obtenidos al analizar las impurezas contenidas en el biodiésel de aceite de soya (cruda y RBD) sin purificar (control) y el purificado por lavado con agua fría (tercer lavado) y caliente (segundo lavado).

**Tabla 3.** Análisis de las impurezas del biodiésel (BD) de aceite de soya (crudo y RBD) antes (control) y después de los lavados con agua fría y caliente.

Parámetros de control	N.T.P. <sup>2</sup> , ASTM <sup>3</sup> y Europea <sup>4</sup>	BD de aceite de soya crudo			BD de aceite de soya RBD		
		Control	Lavado 1	Lavado 2	Control	Lavado 1	Lavado 2
% Glicerol total	0,23	0,698	0,268	0,16	0,407	0,393	0,161
% Glicerol libre	0,02	0,031	0,025	0,008	0,018	0,013	0,0092
Jabones (ppm)	No especifican	617,18	226,53	59,47	60,63	59,08	56,41
Índice de acidez	0,8	0,332	0,108	0,307	0,221	0,165	0,224

N.T.P.: Norma Técnica Peruana del Biodiésel B100<sup>2</sup>

Control: Muestra de biodiésel sin purificar

Lavado 1: Después de 3 lavados con agua fría (temperatura ambiente)

Lavado 2: Después de 2 lavados con agua caliente (a 90°C)

En la tabla 3 se aprecia que el biodiésel producido a partir de aceite de soya crudo que no ha sido sometido al proceso de lavado (control); no cumple las especificaciones técnicas porque su contenido de glicerol total (0,698 %) y libre (0,031 %), excede los límites establecidos en la Norma Técnica Peruana (NTP) e internacionales ASTM y europea que establecen para el

glicerol total: 0,23% y para el glicerol libre: 0,02%.

Después del tercer lavado con agua fría disminuyen los valores de glicerol total (a 0,268%) y libre (a 0,025%) pero estos valores todavía exceden lo establecido en las normas. Luego del segundo lavado con agua caliente los valores disminuyen a 0,16% y 0,008%, respectivamente, con lo que recién se cumplen las normas técnicas.

En lo que respecta al contenido de jabones, aunque las normas técnicas no establecen un valor límite, se observa una gran disminución por efecto del lavado, siendo mucho más eficiente el lavado con agua caliente (de 617,18 a 59,47 ppm) que el lavado con agua fría (a 226,53 ppm).

En el caso del índice de acidez, tanto el control (0,332) como los lavados con agua fría (0,108) y caliente (0,307) no exceden los límites establecidos en las normas (0,8). El lavado con agua caliente disminuye muy poco este índice y es menos eficiente que el lavado con agua fría. En el caso del biodiésel producido a partir de aceite de soya RBD, cuando aún no ha sido sometido al proceso de lavado (control), su contenido de glicerol total (0,407%) excede lo especificado en las normas técnicas (0,23%). Por efecto del lavado con agua fría, el glicerol total disminuye ligeramente (a 0,393%) aunque aún se mantiene por encima de lo normado. El efecto del lavado con agua caliente es mucho mayor, disminuyendo (a 0,161%), cumpliendo con lo establecido en las normas.

Similar comportamiento presenta el glicerol libre: el contenido que presenta el control (0,018%) está ligeramente por debajo de lo establecido en las normas (0,02%); disminuye por el lavado con agua fría (a 0,013%) y la disminución es mayor por el lavado con agua caliente (a 0,0092%).

El contenido de jabones presenta una pequeña disminución por el lavado con agua, no habiendo gran diferencia entre el uso de agua fría o caliente.

Comportamiento diferente presenta el índice de acidez: mientras el lavado con agua fría lo disminuyó visiblemente (de 0,221 a 0,165), el lavado con agua caliente lo incrementó ligeramente (a 0,224). Sin embargo, el índice de acidez de ninguna de las muestras (incluyendo el control) sobrepasa los límites establecidos en las normas (0,8).

#### **Análisis del biodiésel obtenido a partir de aceites de palma**

En la tabla 4, se presentan los resultados obtenidos al analizar las impurezas del biodiésel obtenido a partir de aceite de palma (crudo y RBD) antes del lavado (control) y después del tercer lavado con agua fría y del segundo lavado con agua caliente.

**Tabla 4.** Análisis de las impurezas del biodiésel (BD) de aceite de palma (crudo y RBD) antes (control) y después de los lavados con agua fría y caliente.

Parámetros de control	N.T.P. <sup>2</sup> , ASTM <sup>3</sup> y Europea <sup>4</sup>	BD de aceite de palma crudo			BD de aceite de palma RBD		
		Control	Lavado 1	Lavado 2	Control	Lavado 1	Lavado 2
% Glicerol total	0,23	0,56	0,464	0,313	0,395	0,317	0,247
% Glicerol libre	0,02	0,018	0,016	0,01	0,016	0,011	0,009
Jabones (ppm)	No especifican	973,75	332,95	59,88	595,91	129,32	57,94
Índice de acidez	0,8	0,223	0,109	0,392	0,055	0,103	0,222

N.T.P.: Norma Técnica Peruana del Biodiésel B100<sup>2</sup>

Control: Muestra de biodiésel sin purificar

Lavado 1: Después de 3 lavados con agua fría (temperatura ambiente)

Lavado 2: Después de 2 lavados con agua caliente (a 90°C)

Se observa que el biodiésel producido a partir de aceite de palma crudo cuando aún no ha sido sometido al proceso de lavado (control) tiene un contenido de glicerol total (0,56%), que excede largamente las especificaciones establecidas en las normas técnicas (0,23%). Por efecto del lavado con agua fría, el glicerol total disminuye a 0,464% y el lavado con agua caliente lo disminuye aún más (a 0,313%). Sin embargo, en todos los casos se excede el límite señalado por las normas.

En el caso del glicerol libre, aunque su contenido en el control (0,018%) está ligeramente por debajo de lo normado (0,02%) el lavado con agua fría lo disminuye a 0,016%, mientras que el lavado con agua caliente lo lleva a 0,01%. En ninguno de los casos (incluyendo el control) se excede el límite establecido en las normas.

El contenido de jabones disminuye drásticamente por el lavado con agua fría (de 973,75 a 332,95 ppm) y el lavado con agua caliente lo disminuye aún más (a 59,88 ppm). Aunque las normas técnicas no especifican un máximo, esta disminución es beneficiosa para su uso como combustible.

En lo referente al índice de acidez, todas las muestras (incluyendo el control: 0,223) lo tienen por debajo de lo normado (0,8), siendo menor luego del lavado con agua fría (0,109). Por el contrario, el lavado con agua caliente lo incrementa a 0,392.

En el caso del biodiésel producido a partir de aceite de palma RBD, se observa que el glicerol total disminuye ligeramente (de 0,395% a 0,317%) por el lavado con agua fría, y el lavado con agua caliente lo disminuye a 0,247%, pero en todos los casos se excede el límite establecido por las normas (0,23%).

En el caso del glicerol libre, el lavado con agua fría lo disminuye (de 0,016% a 0,011%) y el lavado con agua caliente lo disminuye a 0,009%. En ningún caso (incluyendo el control) se excede el límite establecido en las normas (0,02%).

El contenido de jabones sufre una fuerte disminución por efecto del lavado con agua fría (de 595,91 a 129,32 ppm), mientras que el agua caliente lo disminuye mucho más (a 57,94 ppm). En el caso del índice de acidez se observa un incremento tanto por efecto del lavado con agua fría (de 0,055 a 0,103), como por el lavado agua caliente (a 0,222). Sin embargo, en ningún caso se excede el límite establecido en las normas (0,8).

### CONCLUSIONES

- Los mayores rendimientos de biodiésel (96,6 - 98,17%) se logran cuando se usa aceites refinados como materia prima. El uso de aceites crudos hace que los rendimientos disminuyan a 85,49 - 87,9%.
- El menor rendimiento de biodiésel se obtuvo con el aceite de palma crudo (85,49%), probablemente debido a que este presentó el mayor índice de acidez.
- En todos los casos, el proceso de dos lavados con agua caliente fue más eficiente en la remoción de impurezas del biodiésel (glicerol libre, glicerol total y jabones) que tres lavados con agua fría.
- En casi todos los casos, el proceso de dos lavados con agua caliente produjo un incremento en el índice de acidez del biodiésel, mientras que el lavado con agua fría produjo una disminución del mismo. Es probable que el calor incremente la hidrólisis de los ésteres, aumentando los ácidos libres. Sin embargo, en todos los casos el índice de acidez se mantuvo muy por debajo de lo establecido en las normas.
- La eficiencia de los lavados con agua para remover impurezas (glicerol libre, glicerol total y jabones) es mayor con el biodiésel obtenido a partir de aceites refinados (RBD) que con el obtenido a partir de aceites sin refinar (crudos).
- En ningún caso, el proceso de tres lavados con agua fría fue suficiente para que el porcentaje de glicerol total esté por debajo de lo establecido en las normas técnicas.

- El proceso de dos lavados con agua caliente fue adecuado para que el biodiésel obtenido a partir de soya (crudo y refinado) cumpla lo establecido en las normas internacionales, pero no fue suficiente para el obtenido a partir del aceite de palma (crudo y refinado) ya que los porcentajes de glicerol total fueron ligeramente superiores a lo establecido en las normas técnicas. Posiblemente, con un tercer lavado con agua caliente el porcentaje de glicerol total disminuya a niveles por debajo de lo establecido en las normas técnicas.

### RECOMENDACIONES

- Es preferible el uso de aceites refinados como materia prima para la elaboración de biodiésel en vez de aceites crudos.
- El análisis de la materia prima es fundamental para la elaboración del biodiésel ya que su índice de acidez debe ser tomado en cuenta para calcular cantidad de catalizador a utilizar en la transesterificación.
- La reacción de transesterificación debe hacerse a una temperatura de 48-55°C, la que debe controlarse cuidadosamente. A temperaturas mayores el metanol se volatiliza.
- Una vez terminada la reacción de transesterificación es importante considerar el reposo por 24 horas, para que se decante totalmente la glicerina.

### AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento, a la empresa Sud-Chemie por el financiamiento económico, en especial a los Químs. Rosalina Condemarín y Teresa Villacorta.

### BIBLIOGRAFÍA

1. Mittelbach M. (1996). "Diesel fuel derived from vegetable oils, VI: Specifications and quality control of biodiesel". *Bioresource Technology*; 56: 7-11.
2. Indecopi (2007). Normas Técnicas de Biocombustibles: Norma Técnica Peruana del Biodiesel B100 NTP 321.125.2007
3. ASTM D - 6751, (2002). Standard specification for biodiesel fuel (B100) blend stock for distillate fuels. West Conshohocken, Penn.:ASTM International.
4. Norma Europea EN 14214, (2003). Requisitos mínimos y métodos de ensayo de los FAMES (Fatty Acid Methyl Esters) comercializados y suministrados para su empleo como combustible de automoción puro (100% biodiésel)
5. Tickell J. (2000) "From the fryer to the fuel tank: the complete guide to using vegetable oil as an alternative fuel". 3rd ed. Covington (U.S.A): Tickell Energy Consultants.
6. M.C. Forero, M.J. Gnecco, M.A. Torres (2003). "Producción de biodiésel de Moriche (*Mauritia flexuosa*) como alternativa energética para las regiones apartadas de La Orinoquia colombiana" Julio, año/vol. 7, número 1-2 Universidad de los Llanos Villavicencio, Colombia pp. 59-69 .
7. Freedman B., Pride E.H., Mounts T.L., (1984). "Variables affecting the yield on fatty esters from transesterified vegetable oils". *Journal of American Oil Chemical Society*, 61(10): 1638-43.
8. Van Gerpen J., (2005). "Biodiesel processing and production". *Fuel Processing Technology* 86: 1097–1107.
9. Firestone, d., Ed, (2005e) AOAC Official Method Ca 14-56. Total, Free and Combined Glycerol Iodometric-Periodic Acid Method.
10. AOCS Cc 17-79, (2003). Official Methods. American Oil Chemists' Society. 3<sup>rd</sup>. ed. Determinación de jabones.
11. AOCS Cd 3d-63, (2003). Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemist's Society, 15th Ed., Índice de acidez.