

# **“Efecto de las concentraciones de hidróxido de sodio y las relaciones molares en las propiedades fisicoquímicas del combustible biodiésel a partir de aceite crudo de palma (*Elaeis guineensis*) en Pucallpa”**

Oscar André Maslucan Canayo<sup>1</sup> Edgardo García Saavedra<sup>2</sup>

## **RESUMEN**

En la presente investigación se evaluó el efecto de las concentraciones de hidróxido de sodio y relaciones molares para obtener combustible biodiésel a partir de aceite crudo de palma, empleando para ello el método de catálisis con hidróxido de sodio, para lo cual se evaluaron tres relaciones molares de metanol: aceite, 6:1, 9:1, 12:1, con dos concentraciones de NaOH como catalizador en porcentajes 0,6% y 1%, se utilizó un Diseño completamente al azar con arreglo factorial de 2 x 3.

El combustible biodiésel obtenido, fue mediante el tratamiento (T4: relación molar, metanol: aceite 12:1; mas 1% de concentración de NaOH), es el que mejor comportamiento ha brindado de acuerdo a sus propiedades fisicoquímicas: una densidad de 876,9 kg/m<sup>3</sup>, con una viscosidad de 3,9 Mm<sup>2</sup>/s, una acidez de 0,30 mg KOH/g, un índice de yodo de 52,3 g I /100 g; por mismo que está dentro de los límites establecidos según las norma europea EN 14214 para ser considerado biodiesel.

## **PALABRAS CLAVES**

Aceite crudo de palma, biodiésel, concentraciones, relación molar, catálisis.

## **"Effect of sodium hydroxide concentrations and molar ratios in the physicochemical properties of biodiesel fuel from crude palm oil (*Elaeis guineensis*) in Pucallpa"**

## **SUMMARY**

In the present investigation, the effect of sodium hydroxide concentrations and molar ratios to obtain biodiesel fuel from crude palm oil, using the method of sodium hydroxide catalysis, was evaluated, for which three molar ratios were evaluated. of methanol: oil, 6: 1, 9: 1, 12: 1, with two concentrations of NaOH as a catalyst in 0,6% and 1% percentages, a completely random design with a factorial arrangement of 2 x 3 was used.

The biodiesel fuel obtained was through the treatment (T4: molar ratio, methanol: oil 12: 1, plus 1% concentration of NaOH), which has given the best performance according to its physicochemical properties: a density of 876, 9 kg/m<sup>3</sup>, with a viscosity of 3.9 Mm<sup>2</sup> / s, an acidity of 0.30 mg KOH / g, an iodine value of 52.3 g I<sub>2</sub> / 100 g; by same that is with in the limits established according to the European standard EN 14214 to be considered biodiesel.

## **KEYWORDS**

Crude palm oil, biodiesel, concentrations, molar ratio, catalysis.

## I. INTRODUCCIÓN

Desde el origen de los motores de combustión interna, la utilización de combustibles de origen orgánico ha sido un tema de investigación que nunca se ha abandonado y que actualmente cobra especial interés por la capacidad de contribuir a reducir los problemas de contaminación medio ambientales y de efecto invernadero. La problemática actual es el uso irracional de combustibles no renovables, la misma que se agudiza cada vez más, y que por su alto aporte contaminante a la atmosfera es necesario investigar las vías para disminuir su impacto económico-ambiental.

La región Ucayali y otras regiones amazónicas del país, son grandes potenciales productores de aceite crudo de palma las mismas que con inversión privada bien se podría destinar gran parte de la producción a la obtención de biodiésel.

Este trabajo de investigación comprende dos partes, la primera es la elaboración del combustible biodiésel con dos concentraciones de hidróxido de sodio, con tres relaciones molares y tres repeticiones por cada tratamiento; en la segunda parte se evaluaron las propiedades fisicoquímicas a cada una de las tratamientos en estudio, lo que permitió determinar el mejor tratamiento respecto a sus características fisicoquímicas obtenidas según la norma de estandarización 14214 para combustibles biodiésel.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

Según, Avellaneda (2010), en su estudio "Producción y caracterización de biodiésel de palma y de aceite reciclado mediante un proceso batch y un proceso continuo con un reactor helicoidal". Es posible obtener porcentajes altos de FAME (Fatty Acid Methyl Ester) con una metanólisis básica del ACP (Aceite Crudo de Palma) con una acidez relativamente alta, siempre y cuando se agregue una cantidad apropiada de catalizador y de alcohol que garantice la neutralización de los ácidos grasos libres. La mayor cantidad de biodiésel respecto al aceite crudo original con una concentración de metilésteres aceptada por la normativa, se obtuvo utilizando una concentración másica de NaOH de 0.6% p/p respecto al aceite, junto con una relación molar metanol: aceite de 6:1, condiciones con las que se obtiene un 86.6% p/p de rendimiento.

Según, Killmann (2001), la palma aceitera fue introducida en Malasia en 1870 como planta ornamental y fue cultivada a nivel industrial después de la Primera Guerra Mundial, aprovechando las experiencias obtenidas en las plantaciones de Sumatra. El cultivo fue extendiéndose rápidamente, creciendo de 5000 hectáreas sembradas en 1918 hasta 2.5 millones de hectáreas en 1996, es una planta tropical propia de climas cálidos cuyo origen se ubica en la región occidental y central del continente africano.

Según FEDEPALMA (2009), del fruto de la palma se producen dos tipos distintos de aceites: los aceites ácidos palmíticos de la parte carnosa del fruto (mesocarpio) y los aceites ácidos láuricos de la almendra. El prensado de los racimos de frutos frescos produce el aceite de palma en bruto, y palmiste como subproducto. El palmiste de palma puede prensarse mediante un proceso separado que produce aceite de palmiste y harina proteínica (torta de palmiste), la palma africana constituye una fuente estable de gran parte de la oferta mundial de aceite vegetal. Se considera como una de las oleaginosas de

mayor rendimiento de aceite por hectárea y su cultivo no presenta ajustes significativos en sus prácticas de fertilización año tras año.

Según Knudsen (2001), no existe una definición común acerca de Biodiesel, el cual se basa en aceites vegetales o grasas animales y sus respectivos ésteres metílicos. Pero la ASTM (American Society for Testing and Materials) menciona como biodiesel al “éster monoalquílico de cadena larga de ácidos grasos derivados de recursos renovables, como por ejemplo aceites vegetales o grasas animales para utilizarlos en motores Diésel”.

Según Mittelbach (2004), la reacción de transesterificación depende principalmente de la naturaleza de la materia prima, la concentración del catalizador, la relación molar alcohol-aceite, la temperatura, la agitación, presión y tiempo de reacción, el contenido de humedad, y de ácidos grasos libres.

Según Rashid, Anwar, Moser y Ashraf (2008), los alcoholes que tradicionalmente se usan en la transesterificación son de cadena corta, principalmente metanol y etanol. Se pueden utilizar otros alcoholes como propanol, isopropanol, butanol y pentanol, pero estos son mucho más sensibles a la contaminación con agua, además son más costosos y requieren grandes relaciones molares y temperaturas altas.

Según Ma y Hanna (1999), la transesterificación puede ocurrir a presión atmosférica y a diferentes temperaturas dependiendo de la materia prima utilizada. El rendimiento de la reacción es directamente proporcional a la temperatura.

Según Ma y Hanna (1999), el rendimiento de la transesterificación es directamente proporcional al tiempo de reacción, sin embargo puede variar dependiendo del tipo de materia prima y del catalizador que se utilice. La formación de metilésteres es abundante en los primeros minutos con una buena agitación y condiciones óptimas, pero es casi nula con el avance de la reacción después de 90 minutos.

Según May (2004), el aceite es inmiscible con el metanol, lo que indica que la reacción debe ser homogeneizada de alguna manera. La agitación mecánica de los componentes es el método de homogeneización más comúnmente usado, porque permite el contacto íntimo de los reactivos con buenos resultados en el proceso batch y en continuo.

Según Enweremadu y Mbarawa (2009), después de la reacción de transesterificación ocurre una separación espontánea de fases debido a su inmiscibilidad; entre ellas el glicerol (fase inferior) debe ser retirado y se puede hacer por simple decantación o centrifugado.

Según Mittelbach (2004), después de la separación de fases, cada una debe lavarse para purificarse y alcanzar la mayor concentración de metilésteres. En la industria el metanol es recuperado por calentamiento de la fase éster. Las trazas de glicerol y catalizador pueden ser eliminadas por lavados con agua acidulada o agua pura hasta neutralizar.

Según Agarwal (2007), una vez lavado el biodiesel, este debe ser secado a 110°C con una agitación suave para eliminar el agua remanente.

Según Pasqualino (2006), la densidad es un parámetro determinante del porcentaje de biodiesel máximo en la mezcla. Por tanto se puede dar el caso de mezclas que no cumplen con la norma. Eso ocurrirá con mezclas que contengan un alto porcentaje de biodiesel, o aquellas en las cuales la densidad de diésel sea próxima al límite superior permitido.

### III. MATERIALES Y METODOS

El aceite crudo de palma aceitera se obtuvo de la planta de procesamiento Oleaginosas Amazónicas S.A. OLAMSA ubicado en el Km. 37 del distrito de Campo verde, provincia de Coronel Portillo, departamento de Ucayali. La elaboración del biodiesel y análisis de índice de yodo y viscosidad se realizó en el laboratorio de suelos de la facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, otros laboratorios utilizados para realizar los análisis fisicoquímicos de densidad y acidez se utilizó laboratorio de Química, las mismas que se encuentran en la Universidad Nacional de Ucayali ubicado en la carretera Federico Basadre km. 6.2 distrito de Calleria, provincia de Coronel Portillo, departamento de Ucayali.

Para la determinación del efecto de la concentración de hidróxido de sodio y las relaciones molares se procedió a evaluar cual tratamiento muestra mejores propiedades fisicoquímicas, se empleó el método experimental, que consistió en elaborar y evaluar las propiedades fisicoquímicas del biodiesel obtenido en cada tratamiento. Logrados los datos, fueron analizados en un software estadístico Microsoft Excel y Statgraphics Centurión XVI, y representados en Microsoft Word.

#### **MATERIALES Y EQUIPOS.**

Para el trabajo de investigación se ha utilizado lo siguiente:

**Materia prima:** Aceite crudo de palma.

**Insumos:** Agua, agua destilada.

**Reactivos:** Hidróxido de sodio (NaOH), metanol 98,5 %, etanol neutralizado 95 %, solución indicador de fenolftaleína.

**Materiales:** Termómetro, balón de tres bocas 250 ml., vaso precipitado 500 ml., probeta de 50 y 100 ml., embudo de vidrio, Kitazato de 250 ml., bureta, condensador, soporte universal, embudo de separación, agitador magnético.

**Equipos:** Estufa (318 FISHER ISOTEMPT\*OVEN, MODEL G), cocina eléctrica (marca AIRWAY), agitador magnético (marca CAT, modelo M6), desecador de silica, balanza digital (marca OHAUS, modelo TRAVELER), centrifugadora.

#### **METODOS.**

La metodología que se utilizó para el trabajo de investigación se describe seguidamente.

##### **1. Análisis del aceite crudo de palma.**

###### **Determinación de densidad**

Se determinó la densidad con la norma ICONTEC N.432.

###### **Determinación de acidez.**

Se determinó la acidez con la Norma INCOTEC 218.

###### **Determinación de humedad.**

Se determinó la humedad con la Norma ICONTEC N.287.

###### **Determinación de impurezas.**

Se determinó las impurezas con la Norma ICONTEC 240.

##### **2. Elaboración de biodiésel.**

###### **Recepción de la materia prima.**

Se evaluó la acidez, humedad, y contenido de impurezas.

### Determinación del peso molecular del aceite.

En la determinación del peso molecular se tomó el índice de saponificación de 199,10 mg KOH.

- El cual se le llevo a la fórmula para determinar el peso molecular de ácidos grasos:

$$PMAG = \frac{1 \text{ g muestra}}{n^{\circ} \text{ de saponificacion}} * \frac{56.1 \text{ g KOH}}{1 \text{ mol KOH}} * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}}$$

- Luego se calculó el peso molecular de triglicérido con la siguiente formula:

$$PMTG = (3 * PMAG) + (3 * PMC)(2 * PMH)$$

- El siguiente paso fue determinar el número de moles del aceite y se utilizó la siguiente formula:

$$N^{\circ} \text{ moles} = \frac{\text{masa}}{\text{masa molar}}$$

- Una vez calculado se pasó a determinar las relaciones molares entre el aceite y el metanol.

### Medir los reactivos.

Se procedió a medir el metanol y el hidróxido de sodio, respecto a los diferentes tratamientos en estudio.

- T1: relación molar 12:1; 0,6 % hidróxido de sodio.
- T2: relación molar 9:1; 0,6 % hidróxido de sodio.
- T3: relación molar 6:1; 0,6 % hidróxido de sodio.
- T4: relación molar 12:1; 1,0 % hidróxido de sodio.
- T5: relación molar 9:1; 1,0 % hidróxido de sodio.
- T6: relación molar 6: 1; 1,0 % hidróxido de sodio.

### Disolver el hidróxido en el metanol.

Consistió en mezclar los gramos de hidróxido de sodio en metanol de cada tratamiento, se mezcló hasta disolver por completo las lentejas de hidróxido, en este proceso se tuvo mucho cuidado ya que es una reacción exotérmica y emite gases tóxicos, en este proceso se forma el metoxido.

### Acondicionamiento.

Se procedió a calentar el aceite a una temperatura de 60° C., para poder pasar al siguiente proceso.

### Transesterificación.

La transesterificación consistió en mezcla del metoxido y el aceite a 60°C, en el equipo de reacción (consta de una cocina eléctrica con agitador magnético, un vaso de tres bocas acoplado a un refrigerante) durante 90 minutos y a una temperatura controlada de 60°C.

### Separación de la glicerina.

Luego del proceso de transesterificación se pasó a la separación del biodiesel de la glicerina, se dejó un tiempo de 12 horas para una separación adecuada; luego de este tiempo se procedió a separar el biodiesel de la glicerina.

### Lavado.

Luego de la separación al biodiesel obtenido se pasó a lavarlo con agua hasta alcanzar un Ph de 8, esto se logró en la cuarta lavada.

**Secado.**

Consistió en quitar todo el agua después del lavado, para esto a las muestras se les colocó en un vaso precipitado y colocarlos en la estufa a 100°C, durante dos horas.

**Filtrado.**

El filtrado consistió en pasar el líquido del biodiesel por un papel filtrante grado 42, filtro con gran capacidad de retención (2,5  $\mu\text{m}$ ) para partículas muy finas. Este proceso duró aproximadamente 12 horas.

**Almacenamiento.**

Luego del filtrado se almacenó el biodiesel resultado de cada muestra en envases de vidrio para su posterior análisis.

**3. Análisis fisicoquímicos.**

- Determinación de densidad (norma EN ISO 3675; Kg /m<sup>3</sup>; min. 860 –máx. 900).
- Determinación de viscosidad (norma NTE INEN 1489; min. 2,0 – máx. 5,0 Mm<sup>2</sup>/s).
- Índice de yodo (norma EN 14111; g I /100g; máx. 120).
- Índice de acidez (norma EN 14104; mg KOH/g; máx. 0.50).

**IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.****1. ANALISIS DEL ACEITE CRUDO DE PALMA.****Determinación del porcentaje de índice de acidez.**

El cuadro 1 muestra el porcentaje de acidez encontrados a la muestra del aceite crudo de palma, determinándose una media general de 2,63 %. Comparativamente muy cercano a lo reportado por Calderón et. Al. (2013), quien menciona además para una catálisis básica es necesario una presencia menor del 3% AGL (ácidos grasos libres), la alta acidez del aceite influye en una baja conversión del aceite crudo de palma en biodiesel.

Cuadro 1. Porcentaje de acidez del aceite crudo de palma.

Muestra	Índice de acidez (%)
M1	2,9
M2	3
M3	2,9
M4	2,3
M5	2,4
M6	2,3
Media	2,63

**Determinación de Densidad.**

El cuadro 2 muestra la densidad del aceite crudo de palma realizada a cada una de las muestras.

Cuadro 2. Densidad del aceite crudo de palma.

Muestra	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
M1	0,870
M2	0,870
M3	0,870
M4	0,869
M5	0,870
M6	0,870
Media	0,870

### Porcentaje de impurezas.

Para determinar el porcentaje de impurezas se tomó las muestras y se realizó de acuerdo a la norma ICONTEC 240.

Cuadro 3. Porcentaje de impurezas del aceite crudo de palma.

Muestra	Impurezas (%)
M1	0,02
M2	0,02
M3	0,02
M4	0,02
M5	0,02
M6	0,02
Media	0,02

### Porcentaje de humedad.

El cuadro 4 muestra los porcentajes de humedad del aceite crudo de palma, las mismas que fueron obtenidas siguiendo las recomendaciones de la Norma ICONTEC 287, que establece una humedad menor 0,1 %.

Cuadro 4. Porcentaje de humedad del aceite crudo de palma.

Muestra	Humedad (%)
M1	0,09
M2	0,09
M3	0,10
M4	0,09
M5	0,09
M6	0,10
Media	0,09

## 2. EFECTO DE LA CONCENTRACION DE HIDROXIDO DE SODIO Y LAS RELACIONES MOLARES.

El proyecto fue realizado en dos etapas en la primera se trabajó los tratamientos con una concentración de 0,6 % de NaOH p/p y con las relaciones molares metanol: aceite, (12:1; 9:1; 6:1) con tres repeticiones cada uno. En la primera etapa no se pudo obtener biodiesel debido a que se trabajó con una concentración de NaOH de 0,6 % p/p del aceite crudo de palma, y el porcentaje promedio de acidez del aceite crudo de palma fue 2,63 %, ya que

Tickell (2000), menciona que el catalizador para la reacción de biodiesel “rompe” los triglicéridos y libera los ésteres, una vez que los ésteres están libres estos se combinan con el alcohol, y el catalizador se combina con la glicerina. Entonces debido a la concentración de NaOH 0,6 % no fue suficiente para proceso de romper el porcentaje de triglicéridos presentes en el aceite crudo de palma.

La segunda etapa consistió en la experimentación con la concentración de 1 % de NaOH p/p con respecto al aceite crudo de palma con las relaciones molares metanol: aceite, (12:1; 9:1; 6:1), durante el proceso se elaboró el biodiesel bajo las condiciones en estudio logrando obtener el producto final para su posterior análisis.

### 3. ANALISIS DE LAS PROPIEDADES FISICOQUIMICAS DEL BIODIESEL OBTENIDO A PARTIR DEL ACEITE CRUDO DE PALMA.

El cuadro 5 muestra el efecto de las concentraciones de hidróxido de sodio y las relaciones molares.

Cuadro 5. Determinación de las características fisicoquímicas de los tratamientos.

Tratamiento	NAOH	Relación molar	Viscosidad (mm <sup>2</sup> /s)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Acidez(mg KOH/g)	Yodo (g l/100g)
T1	0,6 %	12:1	9009,6	773,8	1,3	46,5 *
T2	0,6%	9:1	8638,5	759,8	1,5	43,2 *
T3	0,6%	6:1	8670,8	760,8	1,6	44,8 *
T4	1,0%	12:1	3,9	876,9	0,3	52,3
T5	1,0%	9:1	3,1	860,2	0,7	51,5
T6	1,0%	6:1	3,6	864,5	0,7	52,1

Los resultados en cada uno de los tratamientos representan el promedio de las tres repeticiones realizadas.

\*En estos tratamientos no se obtuvo el combustible biodiesel.

### 4. ANALISIS DE VARIANZA PARA CADA UNA DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LOS TRATAMIENTOS EN ESTUDIO.

#### Densidad.

En el cuadro 6, se puede observar que existe un mejor comportamiento con respecto a la densidad en los tratamientos T4, T5 y T6 respecto a los demás tratamientos.

Cuadro 6. Densidad de las diferentes muestras de biodiésel.

Tratamientos	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Desviación estándar
T1	773,8	1,6
T2	759,8	1,4
T3	760,8	1,7
T4	876,9	1,0
T5	860,2	1,8
T6	864,5	1,2

Los valores representan a media  $\pm$  SD, para n=3

El cuadro 7 muestra el análisis de varianza donde los efectos principales la concentración de NaOH y relación molar tienen un efecto estadísticamente significativo sobre Densidad con un 95,0% de nivel de confianza y en la interacción AB no se observa diferencia estadísticamente significativa sobre la densidad.



Cuadro 7. ANVA para Densidad.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:NaOH	47160,3	1	47160,3	21646,91	0,0000
B:Relacion molar	810,784	2	405,392	186,08	0,0000
INTERACCIONES					
AB	9,96574	2	4,98287	2,29	0,1440
RESIDUOS	26,1434	12	2,17862		
TOTAL (CORREGIDO)	48007,2	17			

Según Avellaneda (2010), en su estudio “Producción y caracterización de biodiésel de palma y de aceite reciclado mediante un proceso batch y un proceso continuo con un reactor helicoidal” este obtiene una densidad de 877 Kg/m<sup>3</sup>.

En el presente trabajo de investigación la densidad del combustible biodiesel que mejor se comportó (T4) es de 876,9 kg/m<sup>3</sup> muy próximo al autor antes mencionado.

### Viscosidad.

En el cuadro 8 se muestra a los tratamientos T1, T2 y T3 con una alta viscosidad debido a que no se dio el desdoblamiento de todos los ácidos grasos libres con una concentración de NaOH al 0,6% manteniéndose una mezcla homogénea semisólida.

Cuadro 8. Viscosidad de las diferentes muestras de biodiésel.

Tratamientos	Viscosidad (mm <sup>2</sup> /s)	Desviación estándar
T1	9 009,6	1,54
T2	8 638,5	1,98
T3	8 670,8	1,64
T4	3,9	0,31
T5	3,1	0,69
T6	3,6	0,40

Los valores representan la media  $\pm$  SD, para n=3

En el cuadro 9 se observa que los efectos principales la concentración de NaOH y relación molar tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la viscosidad, además el valor-P en la interacción es menor que 0,05, lo que demuestra que tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la Viscosidad con un 95,0% de nivel de confianza.

Cuadro 9. ANVA para Viscosidad.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:NaOH	3,46062E8	1	3,46062E8	214251245,26	0,0000
B:Relacion molar	127128,	2	63563,8	39353,12	0,0000
INTERACCIONES					
AB	126382,	2	63191,1	39122,36	0,0000
RESIDUOS	19,3826	12	1,61522		
TOTAL (CORREGIDO)	3,46316E8	17			

Según Avellaneda (2010), en su estudio “Producción y caracterización de biodiésel de palma y de aceite reciclado mediante un proceso batch y un

proceso continuo con un reactor helicoidal” determino una viscosidad de 3,61 Mm<sup>2</sup>/s usando una concentración de NaOH de 0,6% con una relación molar de 12:1, trabajando con una acidez de aceite crudo de palma menor a 2%.

### Índice de acidez.

El cuadro 10 muestra al tratamiento T4 como aquel que mejor comportamiento tiene respecto al índice de acidez en comparación con los demás tratamientos; el índice de acidez es un indicador de la estabilidad del biodiésel, por lo tanto la el tratamiento T4 muestra que la reacción de transesterificación ha sido realizada con éxito.

Cuadro 10. Índice de acidez de las diferentes muestras de biodiésel.

Tratamientos	Índice de acidez (mg KOH/g)	Desviación estándar
T1	1,3	0,30
T2	1,5	0,36
T3	1,6	0,32
T4	0,3	0,14
T5	0,7	0,17
T6	0,7	0,19

El cuadro 11 muestra el análisis de varianza para el índice de acidez donde el efecto principal la concentración de NaOH tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el índice de acidez, mientras que la relación molar y las interacciones no se observa diferencias estadísticamente significativas con un 95,0% de nivel de confianza.

Cuadro 11. ANVA para índice de acidez.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:NaOH	3,42347	1	3,42347	51,22	0,0000
B:Relacion molar	0,3523	2	0,17615	2,64	0,1125
INTERACCIONES					
AB	0,0332111	2	0,0166056	0,25	0,7839
RESIDUOS	0,802067	12	0,0668389		
TOTAL (CORREGIDO)	4,61105	17			

El trabajo realizado por Avellaneda (2010), titulado “Producción y caracterización de biodiésel de palma y de aceite reciclado mediante un proceso batch y un proceso continuo con un reactor helicoidal” determinó un índice de acidez de 0,15 mg KOH/g. En este trabajo de investigación nuestro mejor tratamiento T4 muestra un índice de acidez de 0,3 mg KOH/g, esta diferencia se debe a que el autor antes mencionado trabajó con un porcentaje de acidez del aceite crudo de palma menor a 2% y en nuestro trabajo el porcentaje de acidez del aceite crudo de palma fue de un promedio de 2,63%.

### Índice de yodo.

Este parámetro indica el nivel de insaturación que poseen los ácidos grasos presentes en las muestras de biodiésel, el cuadro 12 muestra a los tratamientos T1, T2, T3, donde solo se obtuvo una mezcla bastante homogénea semisólida no combustible de los cuales se obtiene un índice de

yodo menor a los tratamientos T4, T5, T6, donde sí se obtuvo combustible biodiésel, en los cuales el índice de yodo es mayor.

Cuadro 12. Índice de yodo en las diferentes muestras de biodiésel.

Tratamientos	Índice de yodo (g l /100g)	Desviación estándar
T1	46,5	1,52
T2	43,2	1,53
T3	44,8	1,91
T4	52,3	1,18
T5	51,5	1,10
T6	52,1	1,43

Los valores representan la media  $\pm$  SD, para n=3

El análisis de varianza muestra en el cuadro 13 donde se observa que el valor – P es menor que 0,05 en el factor de concentración de NaOH lo que prueba la significancia estadística sobre el índice de yodo con un 95,0% de nivel de confianza y el factor relación molar y las interacciones no muestran diferencia estadísticamente significativa.

Cuadro 13. ANVA para índice de yodo.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:NaOH	230,838	1	230,838	106,69	0,0000
B:Relacion molar	12,9988	2	6,4994	3,00	0,0876
INTERACCIONES					
AB	4,66418	2	2,33209	1,08	0,3711
RESIDUOS	25,9644	12	2,1637		
TOTAL (CORREGIDO)	274,466	17			

Según Avellaneda (2010), en su trabajo titulado “Producción y caracterización de biodiésel de palma y de aceite reciclado mediante un proceso batch y un proceso continuo con un reactor helicoidal” obtuvo un índice de yodo de 51,7 l /100g.

En cuanto al resultado del presente trabajo de investigación el tratamiento T4 es el que mejor comportamiento tuvo en cuanto al índice de yodo de 52,3 g l /100g que fue muy próximo encontrado por Avellaneda (2010).

## V. CONCLUSIONES

- La concentración de hidróxido de sodio al 1% y 12: 1 alcohol: aceite (T4), en aceite crudo de palma, es el que mejor cumple los parámetros establecidos por la Norma Europea (EN 14214) para combustible biodiésel en cuanto a sus propiedades fisicoquímicas (densidad 876,9 kg/m<sup>3</sup>, índice de acidez de 0,30 mg KOH/g, índice de yodo 52,3 g l /100 y viscosidad 3,9 Mm<sup>2</sup>/s).
- La relación molar en los tratamientos T6 y T4 fue donde se obtuvieron mejores rendimientos 83,50 % y 80,66 % respectivamente.

- La interacción de los factores: concentración de NaOH y la relación molar influenció significativamente en los tratamientos con respecto a la viscosidad.
- El tratamiento T4 cumple con la norma estandarizada para combustible tipo biodiésel EN 14214.

## VI. RECOMENDACIONES

- Realizar trabajos de investigación con aceite crudo de palma de las diferentes zonas extractoras de aceite crudo de la región, para comparar las propiedades fisicoquímicas del biodiésel.
- Realizar trabajos de investigación utilizando diferentes tipos de catalizadores y concentraciones mayores iguales a 1%, en la elaboración de combustible biodiesel, para ver las ventajas y desventajas de los mismos.
- Realizar trabajos de investigación para la obtención de biodiésel a partir de otros tipos de aceites vegetales de la región.
- Se recomienda realizar proyectos de inversión a las empresas privadas con ayuda del estado para una planta de obtención de biodiesel el cual generaría una nueva industria, y generaría una nueva fuente de trabajo.

## VII. BIBLIOGRAFIA

- Agarwal, AK. 2007. Biofuels alcohols and biodiesel, applications as fuels for internal combustion engines. Progress in Energy and Combustion Science. 3 ed. s.l., s.e., p. 233,271.
- Avellaneda, FA. 2010. Producción y Caracterización de Biodiesel de palma y de aceite reciclado mediante un proceso Batch y un proceso continuo con un reactor helicoidal. Tarragona, Cataluña, España. s.e., p. 7,157.
- Enweremadu, CC; Mbarawa, MM. 2009. Technical aspects of production and analysis of biodiesel from used cooking oil: a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 9 ed. s.l., s.e., p. 2205,2224.
- FEDEPALMA (Federación Nacional de Cultivadores de palma de aceite en Colombia). 2009. The oil palm. Consultado 15 de octubre, 2017. Disponible en <http://www.fedepalma.org>
- Killmann, W. 2001. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Forestry Department. "Forest plantations thematic papers". Consultado el 18 de septiembre 2017. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/006/ac126e/ac126e00.pdf>.
- Ma, FR; Hanna, MA. 1999. Biodiesel production : a review. Bioresource Technology. s.l., s.e., p. 1, 15.
- May, CY. 2004. Transesterification of Palm Oil: Effect of Reaction Parameters. Journal of Oil Palm Research 16 (2): p. 1-11.
- Mittelbach, M. 2004. Fatty acid methyl esters from animal fat as oleochemical feedstock. Abstracts of Papers of the American Chemical Society 227(3): p. 049.
- Pasqualino, J. 2006. Cynara Cardunculus as an alternative crop for biodiesel production. Tarragona, Cataluña, España. s.e., p. 7,157.

- Rashid, U; Anwar, F; Moser, BR; Ashraf, S. 2008. Production of sunflower oil methyl esters by optimized alkali-catalyzed methanolysis. *Biomass & Bioenergy* 32 (12): p. 1202-1205.