

**Evaluación de estabilidad en almacenamiento  
en dos ambientes del biodiesel de aceite de  
palma africana (*Elaeis guineensis*) y dos  
variedades de piñón (*Jatropha curcas*)**

**Bismarck Andrés Cruz Quiroz**

**Zamorano, Honduras**

Noviembre, 2011

ZAMORANO  
CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

**Evaluación de estabilidad en almacenamiento  
en dos ambientes del biodiesel de aceite de  
palma africana (*Elaeis guineensis*) y dos  
variedades de piñón (*Jatropha curcas*)**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar  
al título de Ingenieros en Agroindustria Alimentaria en el  
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

**Bismarck Andrés Cruz Quiroz**

**Zamorano, Honduras**  
Noviembre, 2011

# **Evaluación de estabilidad en almacenamiento en dos ambientes del biodiesel de aceite de palma africana (*Elaeis guineensis*) y dos variedades de piñón (*Jatropha curcas*)**

Presentado por:

Bismarck Andrés Cruz Quiroz

Aprobado:

---

Francisco Bueso, Ph.D.  
Asesor principal

---

Luis Osorio, Ph.D.  
Director  
Carrera de Agroindustria Alimentaria

---

Jorge Cardona, Ph.D.  
Asesor

---

Raúl Espinal, Ph.D.  
Decano Académico

## RESUMEN

Cruz Quiroz, B. A. 2011. Evaluación de estabilidad en almacenamiento en dos ambientes del biodiesel elaborado de aceite de palma africana (*Elaeis guineensis*) y dos variedades de piñón (*Jatropha curcas*). Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería en Agroindustria Alimentaria, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 20 p.

El objetivo de este estudio fue evaluar la estabilidad en almacenamiento en dos ambientes del biodiesel de palma africana y dos variedades de piñón (Hindú Salvadoreña y Cabo Verde) mediante el método OSI (AOCS cd 12b-92). Se utilizó un diseño experimental de Parcelas Divididas con medidas repetidas en el tiempo, donde los dos ambientes evaluados (24°C y 78% HR) y (40°C y 85% HR) fueron las parcelas principales y los tres aceites utilizados fueron las subparcelas. Se elaboró biodiesel y se almacenó bajo dos ambientes. Se analizaron peróxidos (IP), ácidos grasos libres (AGL) y estabilidad oxidativa (OSI) a los biodiesel recién elaborados (0 días) y a 15, 30, 45 y 60 días de almacenamiento. Los resultados se analizaron en el programa SAS<sup>®</sup> mediante un ANDEVA, una separación de medias Tukey con ( $P < 0.05$ ); además se evaluó el efecto del tiempo sobre los tratamientos por medio de la prueba Wilks-Lambda. El ambiente, el origen del biodiesel y la interacción de ambos factores influyeron significativamente en el aumento en los niveles de IP, AGL durante los 60 días de almacenamiento. Se determinó mediante un análisis de correlación que a medida aumentaba los niveles de IP y AGL disminuía significativamente los resultados del OSI. El biodiesel de piñón de la variedad Hindú Salvadoreña fue significativamente más estable bajo condiciones de almacenamiento húmedo y caliente, que el biodiesel de la variedad Cabo Verde.

**Palabras clave:** Autooxidación, transesterificación, OSI, 873 biodiesel rancimat.

## CONTENIDO

Portadilla .....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos .....	v
<b>1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2 MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>3</b>
<b>3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>5</b>
<b>4 CONCLUSIONES.....</b>	<b>11</b>
<b>5 RECOMENDACIONES.....</b>	<b>12</b>
<b>6 LITERATURA CITADA .....</b>	<b>13</b>
<b>7 ANEXOS.....</b>	<b>15</b>

## ÍNDICE DE CUADROS Y ANEXOS

Cuadros		Página
1.	Interacción de factores a través del tiempo.....	6
2.	Mediciones de peróxidos a través del tiempo.....	7
3.	Cambios de AGL en dos ambientes.....	8
4.	Tiempo de inducción en dos ambientes a los 0, 45 y 60 días.....	9
5.	Influencia de variables sobre las horas de inducción en el equipo Rancimat.....	10
Anexos		Página
1.	Perfil de ácidos grasos del biodiesel de palma y piñón.....	15
2.	Comportamiento de temperatura y HR bajo condición acelerada.....	16
3.	Comportamiento de temperatura y HR bajo condición normal de Zamorano.....	17
4.	Comportamiento de peróxidos en 60 días en dos ambientes.....	18
5.	Comportamiento de ácidos grasos libres en 60 días en dos ambientes.....	19
6.	Índice de estabilidad oxidativa de los biodiesel en 0, 45 y 60 días en dos ambientes.....	20

# 1. INTRODUCCIÓN

El biodiesel se define según la ASTM como ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivado de lípidos renovables que a través de un proceso de transesterificación ocurre una reacción donde una molécula de triglicérido interactúa con tres moléculas de alcohol de bajo peso molecular (Etanol o Metanol), en presencia de un catalizador (KOH ó NaOH), para producir glicerol y ésteres grasos.

La urgencia global para disminuir la contaminación ocasionada por emisiones provenientes del petróleo y la constante fluctuación de precios de los mismos, han generado investigaciones que aportan alternativas para disminuir la contaminación y la dependencia de combustibles de origen fósiles (Britain 2007). Dentro de las nuevas opciones energéticas que pueden sustituir la dependencia de petróleo se encuentra la de biocombustibles (Romano y Soriechetti 2011), debido que proviene de fuentes renovables y se puede mezclar con diesel de origen fósil sin presentar alteración en motores (Burton 2008). A partir de la producción de biocombustibles han generado numerosas controversias en su producción, debido a que su elaboración depende de fuentes oleaginosas de origen animal o vegetal, hecho que apuntan muchos como un atentado a la seguridad alimentaria debido a que su producción genera competencia en el uso de la tierra para la producción de alimentos (FAO 2008).

Según Landa (2006), unas de las preocupaciones en la producción de biocombustibles es la degradación en su perfil de ácidos grasos durante su almacenamiento por factores de humedad, presencia de oxígeno y luz que generan peróxidos que posteriormente forman gomas y sedimentos que pueden causar problemas al motor (Burton 2008). Por esta razón el biodiesel debe ser monitoreado durante el tiempo de almacenamiento y debe cumplir con parámetros iniciales de calidad establecidos por las normas internacionales de regulación (CEN ó ASTM) para utilizarlo. Durante el proceso de elaboración del biodiesel se requieren de tratamientos que disminuyan el aceleramiento de la degradación. Según Haas y Mittelbach (2000), los biodiesel durante el proceso de desengomado necesitan de filtros de carbón activado que retengan la mayor cantidad de sedimentos que posteriormente influyen en la degradación del biodiesel.

Este documento es parte de estudios integrados generados por el LAAZ (Laboratorio de Análisis de Alimento de Zamorano), para contribuir con la planta piloto de producción de biodiesel de Zamorano; evaluando el uso del equipo 873 biodiesel Rancimat para pronosticar la estabilidad del biodiesel durante el tiempo de almacenamiento y disminuir los análisis de peróxidos y ácidos grasos libres (BIOSTAB 2003).

Estudios realizados por Anguaya y Sáenz en el año 2008 respectivamente, determinaron en un lapso de 45 y 120 días el comportamiento natural de vida anaquel de biocombustibles de soya, palma africana, maíz, higuera y piñón; por métodos convencionales según la AOCS y AOAC de acidez, peróxido y TBA, presentando la mejor estabilidad el biodiesel de palma africana seguido del biodiesel de higuera (Anguaya 2007).

Las limitantes fueron la falta de equipos óptimos de extracción de aceites para la semilla de piñón. En este estudio se plantearon los siguientes objetivos:

- Determinar el efecto de dos ambientes en la estabilidad en almacenamiento del biodiesel elaborado de palma africana (*Elaeis guineensis*) y dos variedades de piñón (*Jatropha curcas*).
- Evaluar el efecto en el aumento de las concentraciones de peróxidos y ácidos grasos libres sobre el índice de estabilidad oxidativa (OSI).

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

**Localización.** Este estudio se desarrolló en las instalaciones del Laboratorio de Análisis de Alimento de Zamorano (LAAZ), departamento de Francisco Morazán, Kilómetro 32 carretera a Danlí, Honduras.

### Materiales

- Aceite de palma RBD.
- Semillas de dos variedades de piñón (Hindú Salvadoreña y Cabo Verde).
- Ácido acético 100% anhídrido (MERCK).
- Cloroformo  $\geq 99.8\%$  A.C.S reactivo (Sigma Aldrich).
- Yoduro de potasio, 99.99% reactivo, (Sigma Aldrich).
- Almidón soluble, A.C.S reactivo (Sigma Aldrich).
- Pellets de Hidróxido de sodio (98.4%), J. T Baker.
- Hidróxido de potasio KOH 85% ACS reactivo pellets, Sigma Aldrich.
- Metanol anhidro 99.9% grado reactivo, Sigma Aldrich.
- Ácido cítrico monohidrato, 99.8 % Sigma Aldrich.
- Hexano, 95% grado HPLC, Sigma Aldrich.
- Papel aluminio Diamond.
- Agua destilada.

### Equipos

- Extrusor OEKOTEC modelo D 85-1 Germany.
- Motor de extrusor OEKOTEC modelo WDV 55/11 D101LA4.
- Rancimat modelo 873 Metrohm.
- Campana evaporadora de gases. LABCONCO (Protector Laboratory Hood).
- Centrífuga IEC Modelo K, 115 volts, 7 amps, 60 Hz.,  $\frac{3}{4}$  hp.
- Cristalería.
- Horno 105°C (Ficher Scientific isotemp oven).
- Hornillas. Fisher Scientific.
- Agitadores vortex Fisher Scientific.
- Rotavapor Modelo R 215 BUCHI®.

**Elaboración del biodiesel.** Se utilizó el método de elaboración de biodiesel definido por Baccaro (2008). Los aceites fueron calentados en un rango de 50-60°C, se agregó metóxido de potasio. Luego se dejó durante una hora, con una agitación de 700 rpm. Posteriormente se dejó decantar por una hora para separar la fase liviana de la fase pesada (biodiesel y glicerina), respectivamente. Una vez separadas las fases se procedió a lavar con agua a 60°C en una relación 1:3, en base al peso del aceite.

**Almacenaje del biodiesel.** Los biodiesel fueron almacenados bajo dos ambientes: Zamorano (24°C  $\pm$ 0.62 y 78% HR  $\pm$ 3.9) y en una incubadora (40°C  $\pm$ 0.86 y 85% HR  $\pm$ 1.26). Los biodiesel estuvieron cubiertos con papel aluminio en ausencia de luz.

**Índice de peróxidos.** Se utilizó el método AOAC Cd-8-53 realizando pruebas a los biodiesel de palma y piñón, reportando los resultados como miliequivalente de peróxido por kg muestra. El índice de peróxidos indica el grado de oxidación inicial de los ácidos grasos promovidos por factores de temperatura, humedad, luz, oxígeno y metales. Se estableció un límite de 10 meq/kg de muestra.

**Ácidos grasos libres.** Se realizaron análisis por el método AOAC 940.28 con el objetivo de conocer la cantidad de radicales libres para su posterior proceso de desengomado y neutralizado. Los resultados fueron reportados como porcentajes de ácido oleico. Esta prueba se basó en la norma ASTM D 6751 que establece un límite máximo de 1% de ácidos grasos libres.

**Análisis de estabilidad oxidativa** (AOCS cd 12b-92). Esta prueba induce a la oxidación de las muestras de biodiesel mediante la adición constante de oxígeno y temperatura, una cámara que contiene agua destilada y sensores miden la conductividad eléctrica formada por ácidos volátiles que provienen de los tubos de reacción. Se realizó pruebas por duplicado medidas en horas de inducción. La norma ASTM D-6751 establece un límite mínimo de tres horas de inducción, en la cual se basó este estudio.

**Diseño experimental.** Se utilizó un diseño de Parcelas Divididas con medidas repetidas en el tiempo a los 0, 15, 30, 45 y 60 días, la parcela principal fueron los dos ambientes (24°C y 78% HR) y (40°C y 85% HR). Las sub parcelas fueron lo tres de biodiesel. Se realizaron tres repeticiones.

**Análisis estadístico.** Utilizando el programa estadístico SAS<sup>®</sup> (Statistical Analysis System) versión 9.1. Se realizó un análisis con medidas repetidas en el tiempo a los 0, 15, 30, 45 y 60 días. Con un análisis de medias ajustadas Tukey. También se evaluó mediante la prueba “Wilks Lambda,” el efecto del tiempo sobre los tratamientos.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de índice de peróxidos (IP), ácidos grasos libres (% AGL) e índice de estabilidad oxidativa (OSI) revelaron que el biodiesel de palma al día cero contenían niveles de IP de 1.67 meq/kg, 0.1 % AGL y 18.89 horas de inducción; al mismo tiempo el biodiesel de piñón de las variedades Hindú Salvadoreña y Cabo Verde presentaron valores IP de 0.33 meq/kg de muestra y 0.1% de AGL respectivamente, la estabilidad oxidativa mediante el método OSI fue de 13.2 horas de inducción para la variedad Hindú salvadoreña y de 4.8 horas para la variedad Cabo verde. Dichos resultados de IP y AGL son similares al estudio realizado por Anguaya (2007), en que mostró concentraciones iniciales de peróxidos para biodiesel de palma de 4.98 meq O<sub>2</sub>/kg y para piñón 2 meq O<sub>2</sub>/kg. Las concentraciones de ácidos grasos libres para el biodiesel de piñón y palma africana fueron de 0.2 y 0.1 % respectivamente.

A través de un análisis de varianza (Cuadro 1), se determinó que la temperatura, el tiempo y la interacción tiempo por temperatura fueron los factores que influyeron significativamente ( $P < 0.05$ ), sobre la generación de peróxidos durante 60 días de almacenamiento, en ambos ambientes. Mientras que la generación de AGL fue influenciada por el factor tiempo y la interacción tiempo por variedad. Las horas de inducción en el equipo biodiesel rancimat fue influenciada por la variedad, tiempo y la interacción tiempo por variedad.

El biodiesel de palma presentó al día cero 19.1 horas de inducción y concentraciones de peróxidos y ácidos grasos libres dentro del rango permitido (Cuadro 2). A través del tiempo dicho biodiesel presentó mejor estabilidad en ambos ambientes que los demás biodiesel. De acuerdo con Benjumea y Agudelo (2009), los productos elaborados a partir de aceite de palma africana presentan mejor estabilidad en el tiempo en comparación a los demás aceites; por presentar el mayor contenido de ácidos grasos saturados de cadena intermedia como el láurico y mirístico. Similar comportamiento presentó el biodiesel de piñón de la variedad Hindú Salvadoreña que mostró al día cero 16.3 horas de inducción y niveles de peróxidos y ácidos grasos libres dentro del rango establecido (Cuadros 2 y 3), durante los 60 días de almacenamiento. Bajo el ambiente de Zamorano, los incrementos de peróxidos y ácidos grasos libres no sobrepasaron el límite de ambos análisis. Sin embargo, bajo condición de almacenamiento húmedo y caliente ambas pruebas para todos los biodiesel analizados sobrepasaron el límite establecido de peróxidos de 10 meq/kg. El biodiesel de la variedad Cabo verde presentó el resultado más bajo al obtener al día cero 4.3 horas de inducción. Sin embargo, estuvo dentro de los rangos permitido para biodiesel. Los análisis de peróxidos y ácidos grasos libres presentaron similar comportamiento al del biodiesel de la variedad Hindú Salvadoreña (Cuadro 2 y 3). Dichos

resultados coinciden con el estudio realizado por Berthiaume y Tremblay (2006), que mostró que el biodiesel elaborado a partir de aceites de colza, soya y de pescado presentaron datos en un rango de peróxidos de 3 a 62 meq O<sub>2</sub>/kg y ácidos grasos libres de 0.3 a 2.26%; además las horas de inducción tuvieron un rango de 0.2 a 9.2 horas. El estudio relaciona la estabilidad en almacenamiento del biodiesel con el origen del aceite, el proceso de transesterificación y las condiciones de almacenamiento que generan peróxidos y ácidos grasos libres, que posteriormente influyen sobre la estabilidad oxidativa del biodiesel.

Cuadro 1. Interacción de factores a través del tiempo.

Fuente	Índice de Peróxidos		Ácidos Grasos Libres		Estabilidad Oxidativa	
	F <sup>¥</sup>	Pr>F*	F <sup>¥</sup>	Pr>F*	F <sup>¥</sup>	.Pr>F*
Temperatura	20	0.0461	4	0.800	20.2	0.027
Origen del biodiesel	4	0.2043	7	0.120	386	0.002
Tiempo	54	0.001	376	0.001	131	0.007
Tiempo×Variedad	1.7	0.200	7	0.006	12.9	0.014
Tiempo×Temperatura	12.7	0.001	4	0.040	6.61	0.053

\*Probabilidades significativas a <0.05.

¥Valor F.

**Comportamiento de peróxidos de los biodiesel almacenados 60 días bajo dos ambientes (24°C y 78% HR) y (40°C y 85% HR).** Los biodiesel recién elaborados presentaron niveles de peróxidos dentro del rango permitido para lípidos (10meq/kg) estos valores fueron significativamente diferentes entre variedades (Cuadro 2), esta misma tendencia siguió hasta el día 15, Sin embargo aunque los niveles de peróxidos incrementaron durante los 60 días de almacenamiento por el efecto de la temperatura y el tiempo, la diferencias entre biodiesel no fue significativa (Cuadro 2). Ningún biodiesel bajo condiciones climáticas normales de Zamorano excedió el límite establecido de peróxidos durante los 60 días de almacenamiento. Sin embargo, bajo condiciones extrema de almacenamiento (40°C y 85% HR) los niveles de peróxidos del biodiesel de palma africana sobrepasó este límite establecido.

Cuadro 2. Mediciones de peróxidos a través del tiempo.

<b>Biodiesel</b>	<b>Día</b>	<b>€Meq/kg±D.E.‡</b>	<b>C.V.<sup>∞</sup> (%)</b>	<b>Meq/kg±D.E.</b>	<b>C.V. (%)</b>
Cabo Verde	0	0.39 <sup>B</sup> ± 0.0		0.39 <sup>B</sup> ± 0.0	
Hindú Salvadoreña	0	0.39 <sup>B</sup> ± 0.0	0	0.46 <sup>B</sup> ± 0.1	9.87
Palma Africana	0	1.66 <sup>A</sup> ± 0.0		1.66 <sup>A</sup> ± 0.1	
Cabo Verde	15	1.19 <sup>B</sup> ± 0.0		2.09 <sup>A</sup> ± 0.7	
Hindú Salvadoreña	15	0.49 <sup>B</sup> ± 0.1	10.65	0.99 <sup>A</sup> ± 0.0	21.75
Palma Africana	15	2.30 <sup>A</sup> ± 0.1		2.60 <sup>A</sup> ± 0.0	
Cabo Verde	30	2.89 <sup>A</sup> ± 1.5		4.09 <sup>A</sup> ± 0.7	
Hindú Salvadoreña	30	2.29 <sup>A</sup> ± 0.7	27.09	1.39 <sup>B</sup> ± 0.5	15.43
Palma Africana	30	2.70 <sup>A</sup> ± 0.1		3.3 <sup>BA</sup> ± 0.1	
Cabo Verde	45	6.49 <sup>A</sup> ± 1.2		7.69 <sup>A</sup> ± 10	
Hindú Salvadoreña	45	2.69 <sup>A</sup> ± 0.1	17.67	6.19 <sup>A</sup> ± 1.9	42.4
Palma Africana	45	4.00 <sup>A</sup> ± 0.0		6.68 <sup>A</sup> ± 0.6	
Cabo Verde	60	4.30 <sup>A</sup> ± 4.6		9.09 <sup>A</sup> ± 21	
Hindú Salvadoreña	60	3.80 <sup>A</sup> ± 0.2	14.22	10 <sup>A</sup> ± 0.6	29.49
Palma Africana	60	4.90 <sup>A</sup> ± 0.4		14 <sup>A</sup> ± 0.7	
<b>Ambientes</b>		<b>Zamorano</b>		<b>Húmedo y Caliente</b>	

A-B Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas ( $P \leq 0.05$ ).

‡ Desviación estándar.

<sup>∞</sup> Coeficiente de variación.

€ Miliequivalentes de peróxidos por kg de muestra.

**Comportamientos de ácidos grasos libres (AGL) almacenados 60 días bajo dos ambientes (24°C y 78% HR) y (40°C y 85% HR).** Los AGL presentaron un comportamiento estable durante los 60 días de almacenamiento. Sin embargo, las interacciones de tiempo, variedad y tiempo por temperatura fueron significativas al día 60, bajo condiciones aceleradas de almacenamiento, dichos niveles no incidieron significativamente en la estabilidad oxidativa de los tres biodiesel. Similar comportamiento presentó Mis (2008) donde los niveles de AGL del biodiesel de aceite de palma obtuvo niveles de 0.5% durante 60 minutos de calentamiento a 180°C. La generación de AGL se debe al efecto de lejía (NaOH) y presencia de agua en el biodiesel que rompen los enlaces de los ésteres de alcohol.

Cuadro 3. Cambios de AGL en dos ambientes.

Biodiesel	Día	%±D.E.*	C.V.(%)	%±D.E.	C.V. <sup>§</sup> (%)
Cabo Verde	0	0.1 <sup>A</sup> ± 0.0		0.1 <sup>A</sup> ± 0.0	
Hindú Salvadoreña	0	0.1 <sup>A</sup> ± 0.0	0	0.1 <sup>A</sup> ± 0.0	0
Palma Africana	0	0.1 <sup>A</sup> ± 0.0		0.1 <sup>A</sup> ± 0.0	
Cabo Verde	15	0.1 <sup>A</sup> ± 0.0		0.1 <sup>A</sup> ± 0.0	
Hindú Salvadoreña	15	0.1 <sup>A</sup> ± 0.0	0	0.1 <sup>A</sup> ± 0.0	0
Palma Africana	15	0.1 <sup>A</sup> ± 0.0		0.1 <sup>A</sup> ± 0.0	
Cabo Verde	30	0.2 <sup>A</sup> ± 0.0		0.2 <sup>A</sup> ± 0.0	
Hindú Salvadoreña	30	0.2 <sup>A</sup> ± 0.0	0	0.2 <sup>A</sup> ± 0.0	0
Palma Africana	30	0.2 <sup>A</sup> ± 0.0		0.2 <sup>A</sup> ± 0.0	
Cabo Verde	45	0.2 <sup>A</sup> ± 0.0		0.2 <sup>A</sup> ± 0.0	
Hindú Salvadoreña	45	0.2 <sup>A</sup> ± 0.0	0	0.2 <sup>A</sup> ± 0.0	0
Palma Africana	45	0.2 <sup>A</sup> ± 0.0		0.2 <sup>A</sup> ± 0.0	
Cabo Verde	60	0.30 <sup>A</sup> ± 0.0		0.3 <sup>A</sup> ± 0.0	
Hindú Salvadoreña	60	0.2 <sup>AB</sup> ± 0.1	10.82	0.3 <sup>A</sup> ± 0.03	11
Palma Africana	60	0.20 <sup>B</sup> ± 0.1		0.25 <sup>A</sup> ± 0.01	
Ambientes		Zamorano		Húmedo y Caliente	

A-B. Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas ( $P \leq 0.05$ ).

\* Desviación estándar.

§ Coeficiente de variación.

**Índice de estabilidad oxidativa.** De acuerdo con Berthiaume y Tremblay (2006), el estado de la semilla, el perfil de ácidos grasos y el procesamiento del biodiesel influyen sobre el índice de estabilidad oxidativa. La norma ASTM D 6751 establece un mínimo requerido de tres horas de inducción para cualquier biodiesel con propósitos comerciales. Las horas de inducción de los biodiesel al día cero cumplieron con lo establecido por la norma. Sin embargo, el biodiesel de piñón de la variedad Cabo Verde fue estadísticamente diferente que al resto de los biodiesel. Las horas de inducción de los tres biodiesel disminuyeron significativamente a través del tiempo (Cuadro 4). Al día 45 las dos variedades de piñón en el ambiente húmedo y caliente fueron estadísticamente diferentes al biodiesel de palma. Al día 60 el biodiesel de piñón de la variedad Cabo Verde fue el único biodiesel que sobrepasó el límite establecido en ambos ambientes. Sin embargo en el ambiente de Zamorano fue estadísticamente igual a los demás biodiesel.

Cuadro 4. Tiempo de inducción en dos ambientes a los 0, 45 y 60 días.

<b>Biodiesel</b>	<b>Día</b>	<b>Horas±D.E.*</b>	<b>C.V. %</b>	<b>Horas±D.E</b>	<b>C.V<sup>§</sup>. (%)</b>
Cabo Verde	0	5.87 <sup>B</sup> ± 0.84		5.87 <sup>A</sup> ± 0.84	
Hindú Salvadoreña	0	16.3 <sup>A</sup> ± 2.34	7.87	16.3 <sup>A</sup> ± 2.34	7.87
Palma Africana	0	17.2 <sup>A</sup> ± 2.96		17.2 <sup>A</sup> ± 2.96	
Cabo Verde	45	3.44 <sup>C</sup> ± 0.43		3.8 <sup>B</sup> ± 0.43	
Hindú Salvadoreña	45	8.92 <sup>AB</sup> ± 0.03	17.56	4.12 <sup>B</sup> ± 0.03	29.8
Palma Africana	45	16.1 <sup>A</sup> ± 0.53		9.14 <sup>A</sup> ± 0.53	
Cabo Verde	60	2.65 <sup>A</sup> ± 1.86		0.40 <sup>C</sup> ± 1.86	
Hindú Salvadoreña	60	4.34 <sup>A</sup> ± 0.09	55.45	3.75 <sup>B</sup> ± 0.12	31
Palma Africana	60	6.39 <sup>A</sup> ± 3.09		7.20 <sup>A</sup> ± 0.84	
<b>Ambientes</b>		<b>Zamorano</b>		<b>Húmedo y caliente</b>	

A-C. Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas ( $P \leq 0.05$ ).

\*Desviación estándar.

§ Coeficiente de variación.

### **Influencia de peróxidos y ácidos grasos libres en la estabilidad en almacenamiento.**

Según estudios realizados por Berthiaume y Tremblay (2006) y la publicación de PETRO Industry News (2008) afirman que el equipo rancimat es considerado un instrumento que muestra la situación actual del biodiesel en relación a la cantidad de peróxidos y ácidos grasos libres presentes en los biodiesel.

A través de una prueba de correlación (Cuadro 5), entre IP, AGL y OSI mostró que a medida aumentó los niveles de peróxidos, disminuyó significativamente las horas de inducción para los tres biodiesel. Siendo los AGL el factor que influyó sobre el aumento en las concentraciones de peróxidos, que posteriormente afectó sobre el equipo Rancimat (OSI). Según Norman (1983), esto se debe por que a medida transcurre el tiempo de almacenamiento las insaturaciones de los ácidos grasos reaccionan con el oxígeno presente, que posteriormente generan polímeros de alto peso molecular. Los niveles de ácidos grasos libres influenciaron significativamente la generación de peróxidos. Sin embargo, la relación entre peróxidos y OSI fue baja (Cuadro 4).

Cuadro 5. Influencia de variables sobre las horas de inducción en el equipo Rancimat.

<b>Correlación de Pearson</b>			
<b>Probabilidad significativa &lt;0.05</b>			
	<b>OSI<sup>¥</sup></b>	<b>Peróxidos</b>	<b>AGL<sup>£</sup></b>
OSI	1	-0.30024 P*= 0.027	-0.53871 P*=0.0001
Peróxidos	-0.30024 P*= 0.027	1	0.31108 P*=0.022
AGL	-0.53871 P*=.001	0.31108 P*=0.022	1

<sup>£</sup> Ácidos grasos libres.

<sup>¥</sup> Índice de estabilidad oxidativa.

\* Probabilidad significativa <0.05.

Según Canakci (2005) la autooxidación del biodiesel no solo depende de los peróxidos y ácidos grasos libres, sino también, influyen el proceso de transesterificación y las condiciones de almacenamiento.

#### **4. CONCLUSIONES**

- Todos los biodiesel bajo condición de almacenamiento húmedo y caliente tuvieron una vida útil de 60 días en base al límite de peróxidos establecido para lípidos.
- El aumento en los niveles de peróxidos bajo las dos condiciones de almacenamiento redujo las horas de inducción en el Rancimat (OSI).
- Bajo la condición de almacenamiento húmedo y caliente, el biodiesel de palma africana presentó al día 60, mejor estabilidad oxidativa que los biodiesel de piñón. Sin embargo, la variedad Cabo Verde presentó mejor estabilidad que la variedad Hindú Salvadoreña.

## **5. RECOMENDACIONES**

- Evaluar vida anaquel del biodiesel mediante el método OSI utilizando antioxidantes en las mismas condiciones de este estudio.
- Realizar análisis de vida anaquel mediante el método OSI con mezclas de biodiesel y diesel.
- Realizar similares estudios mediante el OSI bajo tres ambientes (Ambiente frío, cálido y caliente) para la creación de ecuaciones que puedan predecir la estabilidad en almacenamiento del biodiesel.

## 6. LITERATURA CITADA

Anguaya, C. 2007. Estudio de estabilidad en almacén del biodiesel obtenido de aceite de soya (*Glycine max*), palma africana (*Elaeis guineensis*), maíz (*Zea mays*), higuierilla (*Ricinus communis*) y piñón (*Jatropha curcas*). Honduras. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. 58p.

Benjumea, P; Agudelo, J. 2009. Biodiesel: Producción, calidad y caracterización. Colombia. 141 p.

Berthiaume, D; Tremblay, A. 2006. Oleotek: Study of the Rancimat test method in Measuring Oxidation Stability of Biodiesel Ester and Blends. 37 p.

BIOSTAB. 2003. Stability of biodiesel used a fuel for diesel engines and heating systems Sumary Report. 13p.

Britain, G. 2007. Are biofuel sustainable? United Kingdom. 200 p.

Burton, R. 2008. An Overview of ASTM D6751. Biodiesel Standard and Testing Methods. 35p.

Canakci, M. 2005. The potencial of restaurant waste lipids as biodiesel feedstock. Bioresource Technology 98. 190 p.

FAO. 2008. La producción de biocombustibles a gran escala puede aumentar la marginación de las mujeres. (en línea). Disponible en:  
<http://www.fao.org/newsroom/es/news/2008/1000830/index.html>

Haas, W; Mittelbach, M. 2000. Detoxification experiments with the seed oil from *Jatropha curcas L.* International Journal of Scientific Research. 8 p.

Landa, I. 2006. Caracterización del biodiesel (principales parámetros de calidad). 48 p.

Mis, K. 2008. Efecto del tiempo de freído del aceite de palma (*Elaeis guineensis*) sobre las características físicos-químicas del biodiesel. Honduras. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. 30 p.

Norman, W. 1983. Elemento de tecnología de alimentos. AVI Publishing Company, Inc. Connecticut. USA. 783 p.

PETRO Industry News. 2008. Determining the Oxidation Stability of Biodiesel According to EN 14112 (en línea). Disponible en: [http://www.petro-online.com/news/analytical-instrumentation/11/metrohm/determining\\_the\\_oxidation\\_stability\\_of\\_biodiesel\\_according\\_to\\_en\\_14112/3218](http://www.petro-online.com/news/analytical-instrumentation/11/metrohm/determining_the_oxidation_stability_of_biodiesel_according_to_en_14112/3218)

Romano, S; Soriechetti, P. 2011. Dielectric Spectroscopy in Biodiesel production and characterization. Argentina. 101 p.

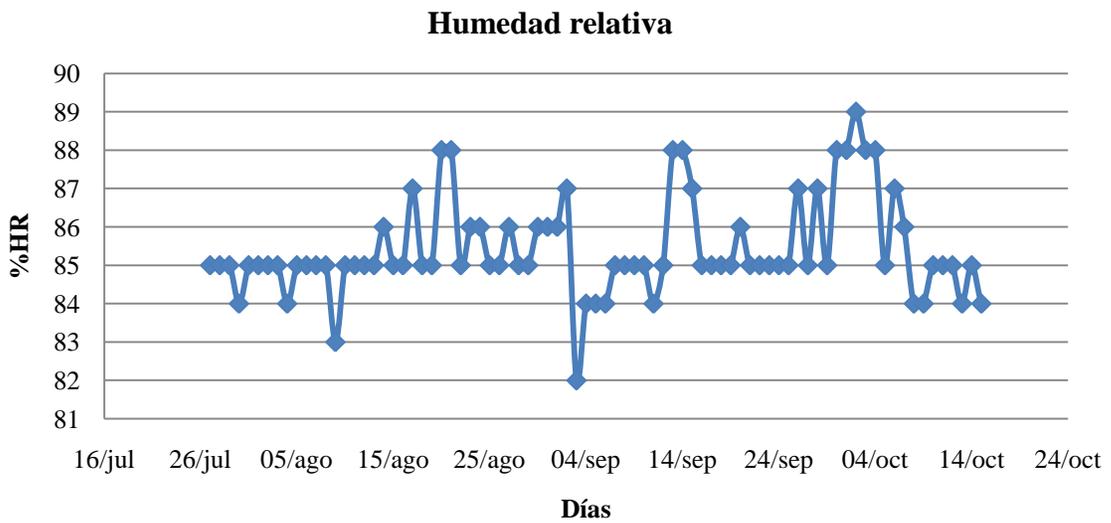
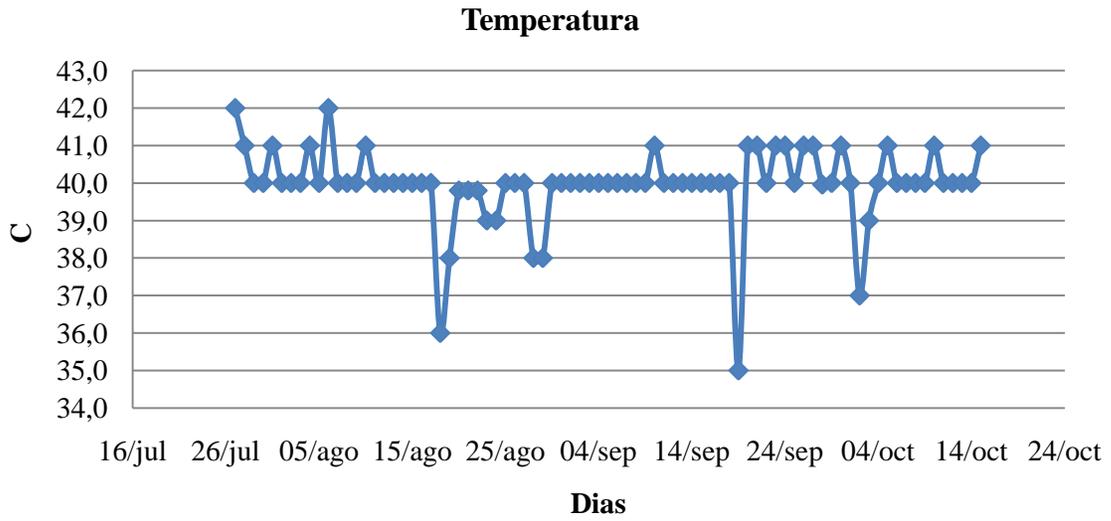
Sáenz, A. 2008. Efecto antioxidante de alfa tocoferol, BHT y TBHQ en el biodiesel de aceites vegetales. Honduras, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. 44 p.

## 7. ANEXOS

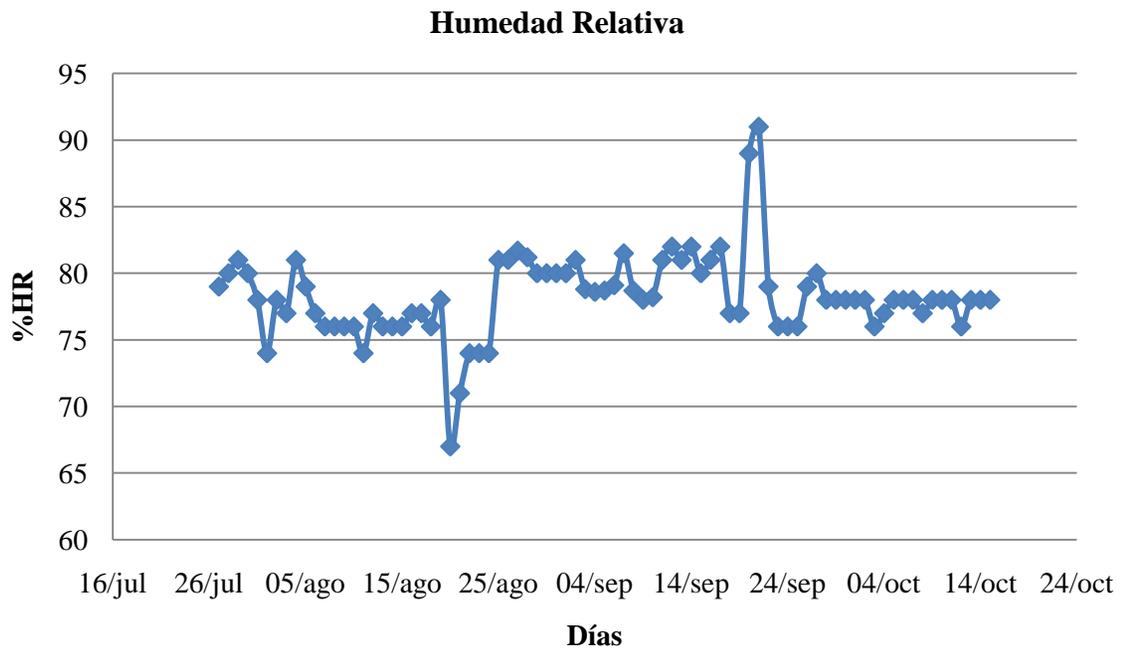
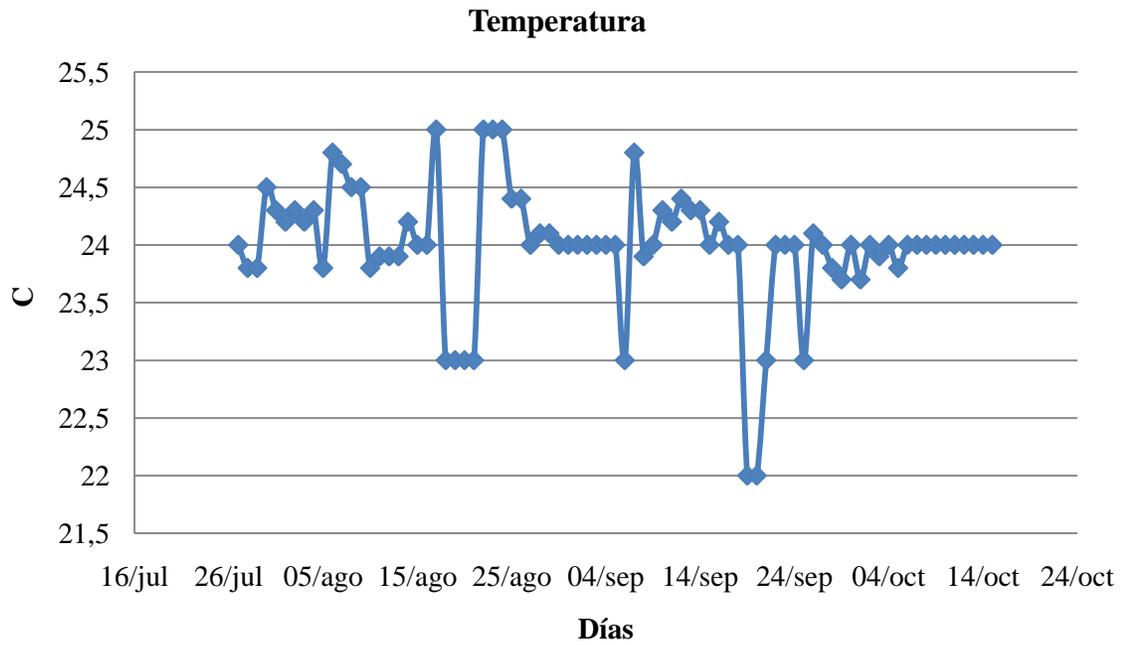
Anexo 1. Perfil de ácidos grasos del biodiesel de palma y piñón.

	Ácidos grasos	Números de Carbonos	Origen del Biodiesel		
			Cabo Verde	Hindú Salvadoreña	Palma Africana
Saturados	Mirístico	C14:0	0	0	0
	Palmítico	C16:0	13.44	12.79	40.13
	Esteárico	C18:0	7.2	6.8	4.1
	Araquídico	C20:0	0	1	0
Insaturados	Palmitoléico	C16:1	0.75	0.72	0.13
	Oléico	C18:1	45	43	38
	Ricinoléico	C18:1	0	0	0
	Vaccénico	C18:1	0	0	0
	Eicosanoico	C20:1	0	0	0
Poliinsaturados	Linoleico	C18:2	33	38	9.3
	Linolénico	C18:3			
$\Sigma$ Saturados			20.94	20.39	46.65
$\Sigma$ Insaturados			45.82	44.16	38.51
$\Sigma$ Poliinsaturados			33.03	38.43	9.47

Anexo 2. Comportamiento de temperatura y HR bajo condición acelerada.

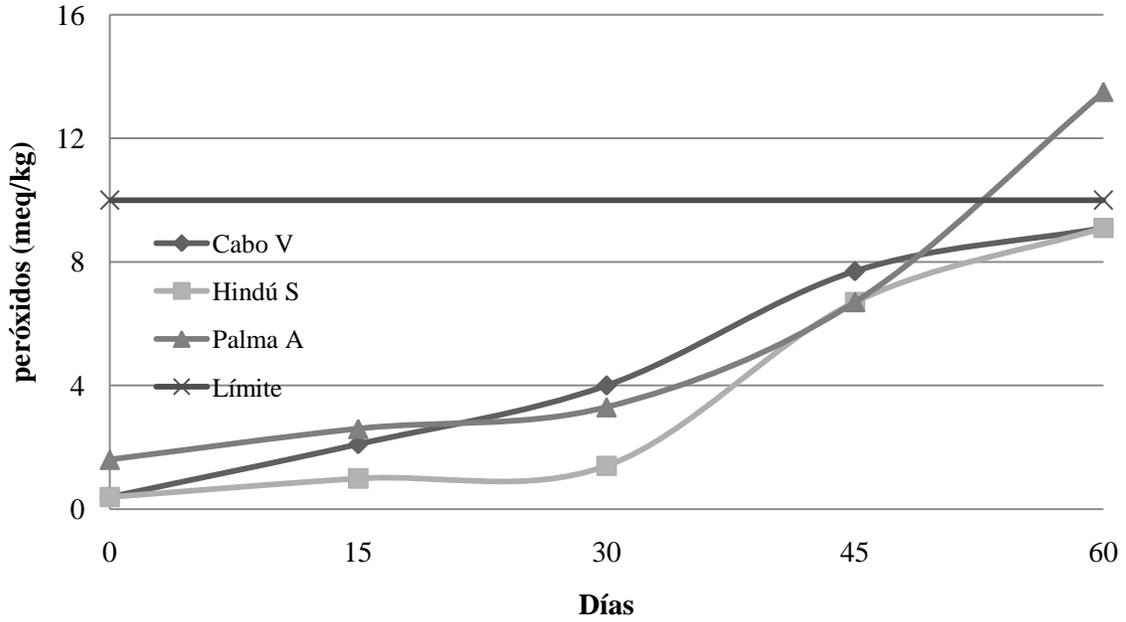


Anexo 3. Comportamiento de temperatura y HR bajo condición normal de Zamorano.

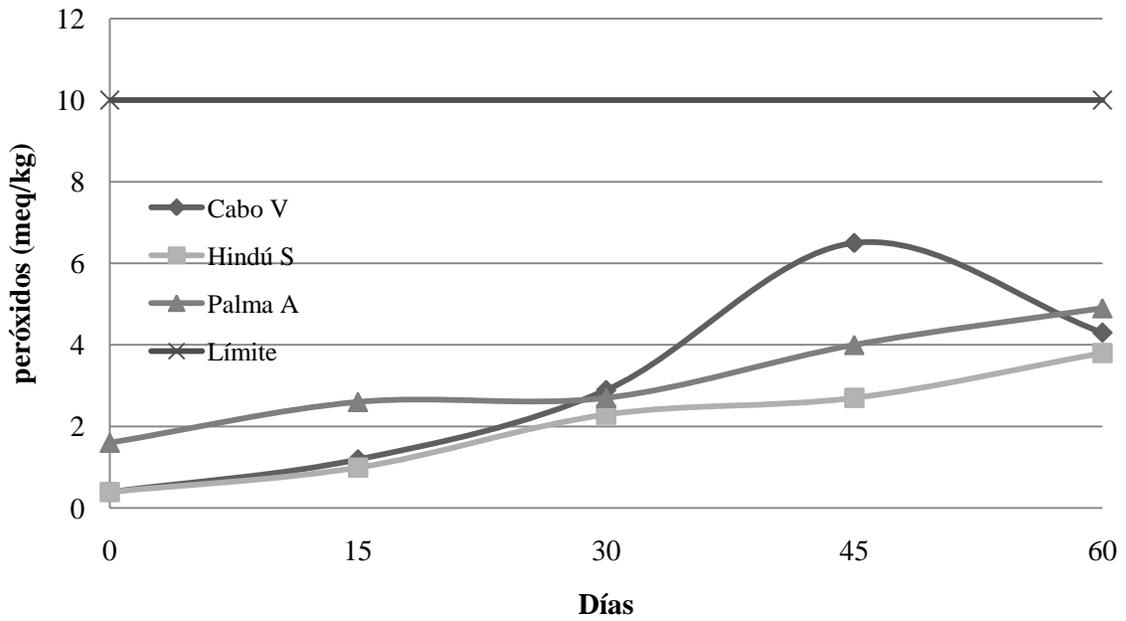


Anexo 4. Comportamiento de peróxidos en 60 días en dos ambientes.

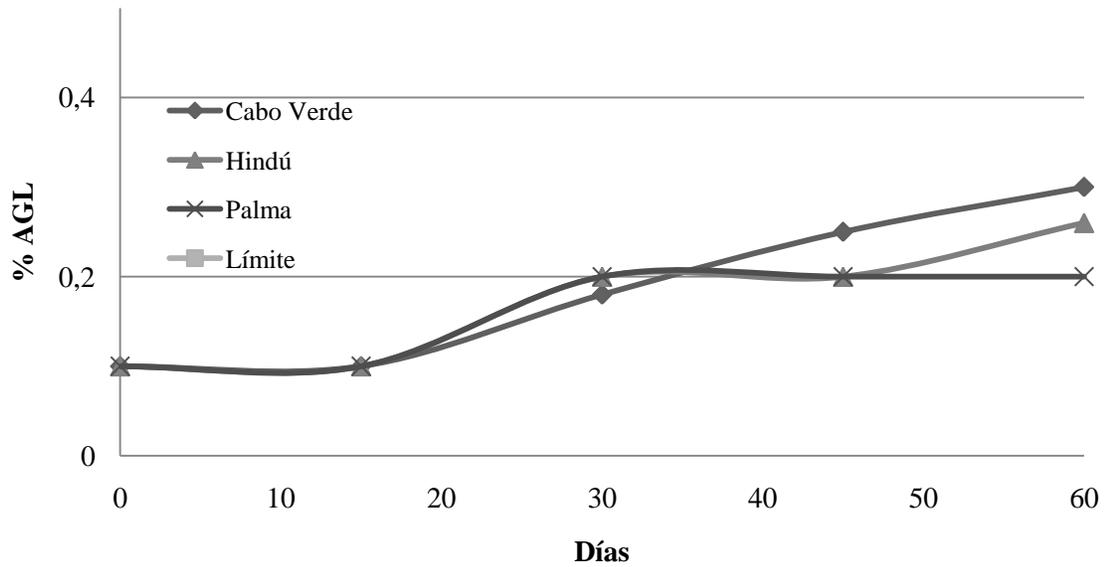
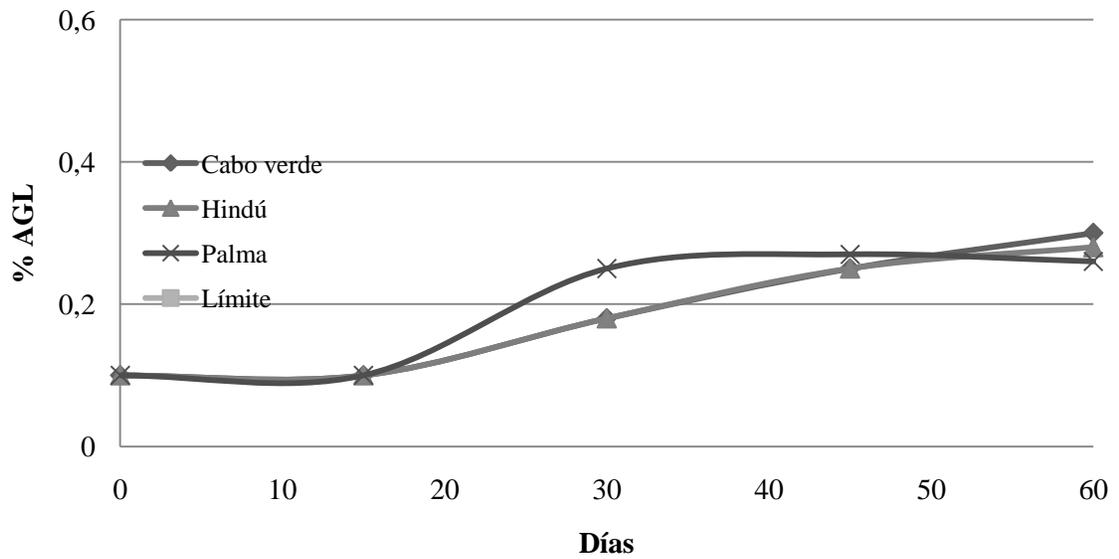
**Ambiente húmedo y caliente**



**Ambiente Zamorano**

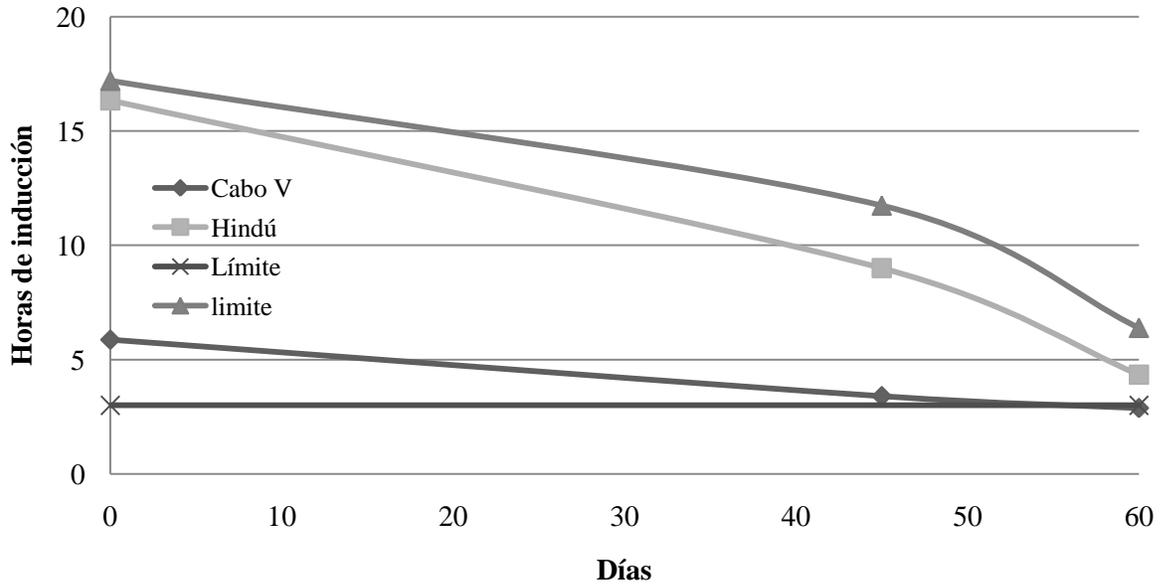


## Anexo 5. Comportamiento de ácidos grasos libres en 60 días en dos ambientes.

**Ambiente caliente y húmedo****Ambiente de Zamorano**

Anexo 6. Índice de estabilidad oxidativa de los biodiesel en 0, 45 y 60 días.

**Ambiente Zamorano**



**Ambiente húmedo y caliente**

