

**Propiedades antisolidificantes del tolueno,
kerosene y Wintron XC30 para el biodiesel de
aceite de palma africana (*Elaeis guineensis*)**

Alejandra Acevedo Ochoa

Zamorano, Honduras

Diciembre, 2008

ZAMORANO
CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

**Propiedades antisolidificantes del tolueno,
kerosene y Wintron XC30 para el biodiesel de
aceite de palma africana (*Elaeis guineensis*)**

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

Presentado por

Alejandra Acevedo Ochoa

Zamorano, Honduras

Diciembre, 2008

**Propiedades antisolidificantes del tolueno,
kerosene y Wintron XC30 para el biodiesel de
aceite de palma africana (*Elaeis guineensis*)**

Presentado por:

Alejandra Acevedo Ochoa

Aprobado:

Francisco Javier Bueso, Ph.D.
Asesor Principal

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

Luis Fernando Osorio, Ph.D.
Asesor

Raúl Espinal, Ph.D.
Decano Académico

Kenneth L. Hoadley, D.B.A.
Rector

RESUMEN

Acevedo, A. 2008. Propiedades antisolidificantes del tolueno, kerosene y Wintron XC30 para el biodiesel de aceite de palma (*Elaeis guineensis*). Proyecto de graduación del programa de Ingeniería en Agroindustria Alimentaria, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 30p.

El aceite de palma es 50% saturado. Esto conlleva a que su punto de solidificación sea 10 °C. El objetivo general del estudio fue determinar las proporciones óptimas de tolueno, kerosene y Wintron XC30 como aditivo para evitar la solidificación en el biodiesel de aceite de palma a temperaturas de invierno entre 0 y 20 °C. Se utilizó un diseño experimental BCA con 7 tratamientos y 3 repeticiones para un total de 21 unidades experimentales. Se evaluó 0.5% de kerosene, una mezcla de 0.5% de kerosene y 0.5% de tolueno, 0.5% de tolueno, 0.5% de Wintron XC30, 1% de Wintron XC30, teniendo como controles el diesel fósil y biodiesel de palma sin aditivos. Se monitoreó la viscosidad del biodiesel en un rango de temperatura de 0 a 20 °C para determinar el punto de enturbiamiento, además de la energía bruta en cal/g. Se comparó la temperatura de Punto de Obturación de Filtro Frío (Cold Filter Plugging Point) visual y el Punto de Obturación de Filtro Frío en la gráfica y se determinó que el Wintron XC30 a una concentración de 0.5-1% disminuyó la temperatura de obturación del filtro frío pero no fue suficiente como para usar este biodiesel en temperaturas de invierno menores a 8 °C. El uso de 0.5% tolueno en el biodiesel aumentó el poder calorífico del biodiesel en un 20.36%. El costo variable de elaborar biodiesel sin aditivos a nivel de laboratorio fue de L. 94.56/Litro y el costo de comprar Diesel fósil fue L. 21.38/Litro.

Palabras clave: ASTM D6751, viscosidad cinemática, punto de obturación de filtro frío, energía bruta, temperaturas de invierno.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	2
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	6
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	12
5. CONCLUSIONES.....	19
6. RECOMENDACIONES.....	20
7. BIBLIOGRAFÍA.....	21
8. ANEXOS.....	23

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadro	Página
1. Diseño experimental del estudio.....	7
2. Descripción de tratamientos.....	8
3. Análisis de Punto de Obturación de Filtro Frío del biodiesel con aditivos antisolidificantes	15
4. Análisis del efecto de los antisolidificantes en la energía bruta del biodiesel.....	16
5. Análisis de costos variables de biodiesel por ruta metálica.....	17
6. Costos variables por tratamiento	18
Figura	Página
1. Una representación simple de la producción de biodiesel.....	2
2. Estructura química del tolueno.....	4
3. Elaboración del biodiesel.....	9
4. Comportamiento de la viscosidad en biodiesel con kerosene y tolueno.....	13
5. Comportamiento de la viscosidad en biodiesel con Wintron XC30.....	13
6. Comportamiento de la viscosidad en biodiesel y diesel fósil.....	14
Anexo	Página
1. Formato de evaluación de la viscosidad del biodiesel.....	24
2. Cuadros del SAS para viscosidad	30
3. Cuadros del SAS para calorimetría	30

1. INTRODUCCIÓN

La alternativa de utilizar el biodiesel llamó la atención de varias industrias a nivel mundial. La mayoría de la atención se debía a que era una alternativa de energía renovable, barata, confiable y rentable para las empresas; además porque puede ser usado puro o en mezclas con combustible fósil como el diesel (B5, B20 y B100 siendo los más usados), reduciendo así algunos de los gases contaminantes del ambiente. Sin embargo hoy en día es cada vez un problema más grande producir estos biocombustibles por la gran crisis de alimentos a nivel mundial. Efectivamente, la producción de biocombustibles se hace en detrimento de los cultivos de plantas comestibles utilizando las reservas de agua, desviando tierras y capitales, lo que originó un aumento de precios de los productos alimenticios.

A pesar de la crisis de alimentos en el mundo, existe un incremento en la demanda energética de combustibles fósiles y la disminución de las reservas de petróleo a nivel mundial, lo cual genera oportunidades para la implementación de nuevos combustibles alternativos, siendo el biodiesel un producto agrícola que actualmente se usa como sustituto. A nivel mundial, la producción de biodiesel a partir del aceite de palma africana (*Elaeis guineensis*) es líder, lo cual hace tan atractivo este mercado. Malasia, Indonesia, Alemania y algunos países Suramericanos están liderando la producción de biodiesel de aceite de palma africana.

Sin embargo, uno de los mayores problemas que conlleva la producción de biodiesel de aceite de palma, es que al ser más saturado tiende a solidificarse a 10 °C y es más difícil de disminuir su Punto de Obturación de Filtro Frío (POFF) que otros aceites. Debido a este problema, se encuentra la necesidad de crear un aditivo con propiedades antisolidificantes que contrarreste la solidificación del biodiesel a temperaturas de invierno sin afectar sus propiedades de combustión.

El objetivo de este estudio fue determinar las propiedades antisolidificantes del tolueno, kerosene y Wintron XC30 en diferentes concentraciones como aditivo para evitar la solidificación en el biodiesel de aceite de palma a temperaturas de invierno entre 0 °C y 20 °C. También se evaluó el efecto de estos aditivos en la energía bruta del biodiesel de palma.

Los antecedentes de este estudio fueron desarrollados por Quezada (2007), quien evaluó la energía de combustión y otros parámetros físico-químicos del biodiesel obtenido a partir de cinco aceites vegetales y Orellana (2007), quien evaluó la calidad del biodiesel elaborado de palma africana (*Elaeis guineensis*) y etanol. Estos fueron estudios realizados en la Escuela Agrícola Panamericana el Zamorano.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. BIODIESEL

La ASTM (American Society for Testing and Materials) define el Biodiesel como “el éster monoalquílico de cadena larga de ácidos grasos derivados de recursos renovables, como por ejemplo aceites vegetales o grasas animales, para utilizarlos en motores Diesel”. La transesterificación básicamente consiste en el mezclado del aceite vegetal o grasas con un alcohol (generalmente Metanol) y un álcali (soda cáustica) como se observa en la Figura 1. Al cabo de un tiempo de reposo, se separa por decantación el biodiesel de su subproducto Glicerol (NextFuel, 2006).

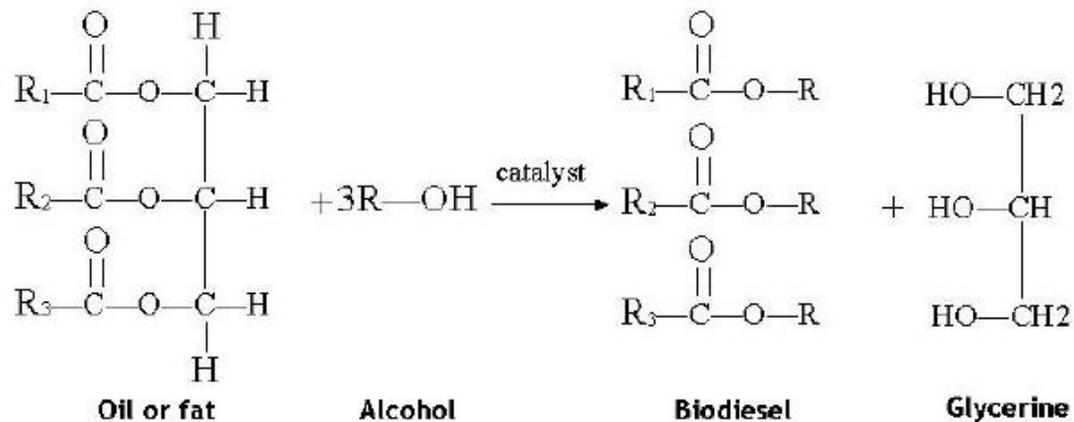


Figura 1. Una representación simple de la producción de biodiesel.

Fuente: NBB, 2002.

Las desastrosas consecuencias sociales de esta política son fácilmente previsibles cuando se sabe que la inseguridad alimentaria ya afecta a 854 millones de personas (Caty, 2008).

Desde los años noventa, el cultivo de palma africana en la costa norte de Honduras ha aumentado más del doble hasta llegar a más de 90,000 hectáreas. Sin embargo, debido a que el precio de aceite de palma para el consumo humano es más alto que el del biodiesel, su producción a futuro es incierta. Una empresa ha casi finalizado la construcción de unas instalaciones nuevas que serán capaces de producir más de 30,000 G de biodiesel (B100) por día. Esta planta estará lista hasta el momento en que la compañía determine que es

más rentable producir biodiesel que aceite de palma para el consumo humano (Embajada de Estados Unidos en Honduras, 2008).

Según el informe emitido por la Embajada de Estados Unidos en Honduras (2008), un estudio reciente sugiere que Honduras cuenta con 540,000 hectáreas aptas para el cultivo de palma. Si la tierra se utilizara para la producción de biodiesel en lugar de aceite de palma, 300,000 hectáreas serían suficientes para satisfacer el total de la demanda actual de diesel (B100) de Honduras. Solamente se requerirían 60,000 hectáreas para producir una mezcla de 20% de biodiesel y 80% de petrodiesel (B20).

2.2. KEROSENE

El kerosene es un líquido transparente o ligeramente amarillo, obtenido por destilación del petróleo. Tiene una masa molar promedio de 170g/mol y un punto de congelación de -51 °C. De densidad intermedia entre la gasolina y el gasóleo, se utiliza para motores que trabajan en elevadas altitudes y temperaturas por debajo de 0 °C. Es un soluto no volátil (que no se evapora fácilmente) el cual reduce el Punto de Obturación de Filtro Frío del solvente. Una solución que contiene un soluto no volátil se congela a una temperatura más baja que el disolvente puro. Esto se debe a la disminución en la presión de vapor causada por el soluto. Las partículas del soluto estarán en medio de las partículas del solvente, interrumpiendo las interacciones entre las fuerzas de las partículas del solvente, haciendo difícil la unión de ellas (Pontificia Universidad de Puerto Rico Departamento de química, 2003).

Una de sus ventajas es que tiene un elevado índice de cetano. Es decir, excelente ignición, lo que produce un mejor arranque en frío y una eficiente combustión, además de una elevada estabilidad y cualidad dispersante; reduce la formación de sedimentos y obstrucción de filtros (Wikipedia, 2007).

Muchas personas en EEUU utilizan el Kerosene como un antisolidificante durante los meses de invierno. Pero el uso de altas concentraciones de kerosene dará como resultado la disminución del poder calorífico y lubricidad del combustible. En un estudio realizado en el 2004, se comprobó que la adición de kerosene en 0.1% al biodiesel de aceite de soya no tenía efecto significativo (Wei- Chiu *et al*, 2004).

Para este estudio, se utilizó biodiesel de aceite de palma africana que es más saturado que el biodiesel de aceite de soya y por este motivo se decidió evaluar una concentración de 0.5% kerosene.

2.3. TOLUENO

Según CITUC (2006), el tolueno es un hidrocarburo derivado del petróleo. Se absorbe por la respiración, por vía digestiva e incluso se absorbe por la piel. Por tratarse de un hidrocarburo aromático (Figura 2) se considera Tóxico Sistémico.

El tolueno es una sustancia que predominantemente se utiliza como aditivo en combustibles ya que tiene un punto de ebullición de 111 °C y un punto de fusión de -95 °C respectivamente (Ministerio de Medio Ambiente, 2007). Por consecuencia, ayuda a disminuir el punto de solidificación del biodiesel de aceite de palma.

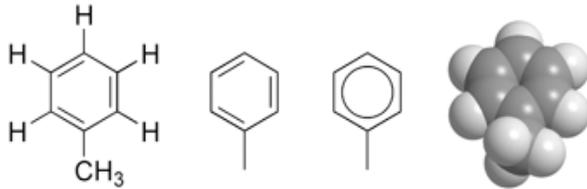


Figura 2. Estructura química del tolueno.

Fuente: Cía. Química y Agroquímica Argentina S.A, 2008.

2.4. WINTRON XC30

En Estados Unidos un producto llamado Wintron XC30 es agregado al biodiesel a una temperatura cálida, por lo general, 5 °C encima del punto de enturbiamiento (cloud point). Es recomendado usar entre 0.2 - 2% del volumen dependiendo de la longitud de cadena del aceite usado. No se recomienda usar altas concentraciones del aditivo, ya que disminuyen el poder calorífico del biodiesel. El efecto de este antisolidificante sobre el biocombustible, es reducir la temperatura a la cual los cristales se tornan lo suficientemente grandes como para tapar los poros del filtro de combustible (CFPP–Cold Filter Plugging Point o Punto de Obturación de Filtro Frío) y reducir el Punto de enturbiamiento (CP) del biocombustible (Biofuel Systems, 2008).

2.5. PUNTO DE OBTURACIÓN DE FILTRO FRÍO (CFPP por sus siglas en ingles)

Según ASTM (2008), Punto de Obturación de Filtro Frío o Cold Filter plugging Point (CFPP) es la máxima temperatura, expresada en múltiplos de 1 °C, en la que un determinado volumen de combustible, en este caso biodiesel, no pasa a través de un dispositivo de filtración estandarizado en un plazo determinado cuando se enfría bajo ciertas condiciones. Según Ahmad y Rupilius (2007), uno de los dos parámetros más importantes para el desempeño del biodiesel es el CFPP. El biodiesel de aceite de palma tiene un CFPP de 10 °C. La cadena corta de carbonos y/o un alto grado de insaturación genera un CFPP bajo. A través de aditivos y/o modificaciones del nivel de insaturación del biodiesel, el CFPP se puede adaptar a las necesidades climáticas de la mayoría de las regiones. Al eliminar una parte de la alta saturación de fusión (C-16 esteres metílicos) y con aditivos, se puede obtener un biodiesel de aceite de palma para climas fríos.

Una prueba de CFPP proporcionaría una estimación de la temperatura más baja a la que un combustible daría problemas para circular libremente en determinado sistema de

combustible. Esto es importante, ya que en países donde las temperaturas son frías, un alto punto de obturación de filtro frío puede obstruir los motores de los vehículos con más facilidad.

Orellana (2007), encontró que el punto de enturbiamiento del biodiesel de aceite de palma africana fue 14.3 ± 1.00 °C. También encontró que el poder calorífico fue 35.2 ± 0.07 KJ/g.

Quezada (2007), encontró que el punto de enturbiamiento del biodiesel de aceite de palma africana era 6.6 °C. También encontró que el poder calorífico fue 39.57 KJ/g (9,460 cal/g).

2.6. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL BIODIESEL

2.6.1. Ventajas

- Recurso renovable, biodegradable, produce menos emisiones de monóxido de carbono, de hidrocarburos no quemados y de partículas de humo.
- No requiere alteraciones en el motor. Genera mayor lubricidad y poder disolvente.
- Puede contribuir a reducir la dependencia de combustible fósil del país.
- No tóxico.

2.6.2. Desventajas

- A bajas temperaturas, el biodiesel se empieza a solidificar a una tasa que depende de su perfil de ácidos grasos, como es el caso del biodiesel de soya que comienza a nublarse y gelificarse entre 0 °C y -5 °C (Wei Chiu *et al.*, 2004). En el caso del biodiesel de palma africana el CFPP es a 10 °C, esto puede obstruir los filtros, parando el motor o sin encender la ignición de partida.
- Se oxida con más rapidez que el diesel, disminuyendo su capacidad de almacenamiento.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DEL ESTUDIO

El estudio se realizó en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de la Universidad Zamorano (LAAZ), localizada a 30 Km. de Tegucigalpa, a una altura de 814 msnm, en el departamento de Francisco Morazán, en las siguientes coordenadas: N 14° Y O 87°, con una precipitación promedio anual de 1,100 mm, y una temperatura promedio anual de 24°C.

3.2. MATERIALES UTILIZADOS

3.2.1. Materiales

- Aceite Vegetal Clover Brand. 100% grado de pureza, sin colesterol. Elaborado por Oleoproductos de Honduras S.A. de C.V (OLEPSA). Distribuidor UNIMERC S.A. de C.V.
- Metanol Grado ACS, ISO, Reag. Ph EUR. 98% de pureza. Número de catálogo 1.06009.5000. Proveedor Sixtus Pharma. Merck Guatemala.
- NaOH pellets, Grado Reactivo. 97% pureza. Número catálogo 484024-10 Kg. Proveedor Sigma Aldrich. US.
- Combustible Diesel Premium. Número de cetanos 47. Proveedor Esso, Zamorano.
- Kerosene.
- Tolueno reactivo C001E77 Grado reactivo 99.5% pureza. Proveedor MALLINCKRODT BAKER, INC. (MCW). 20 L. Man. # 8608. Cantidad 20 L. Proveedor COTEIN S.A. (Thomas Scientific, 2007).
- Wintron XC30. Biodiesel winter additive. Proveedor Biofuel Systems Group LTD.
- Alambre fusible para bombas de oxígeno.
- Oxígeno.
- Agua destilada.

3.2.2. Equipo

- Viscosímetro RVDVII + Brookfield Engineering. Operation method. Brookfield manual No. M/97-164-CO100. Fabricante Brookfield Co.
- Enfriador TC-502. Brookfield Engineering.
- Bomba Calorimétrica (Calorímetro adiabático). Oxygen Bomb Calorimetry and Combustion Methods, Manual No. 160, Parr Instrument, Moline, IL, 1981. Fabricante Parr.
- Balanza analítica Modelo AE 200 Mettler®.
- Balanza OHAUS®.
- Horno 105 °C, Fischer Isotemp Scientific®.
- Hornillas Modelo PC-620 D Corning®.

3.2.3. Utensilios

- Agitadores magnéticos.
- Beakers de 1000 mL Kymax®.
- Decantador de 500 y 2000 mL Pyrex® No. 6400.
- Termómetro.
- Probeta 100 ml.

3.3. MÉTODOS

3.3.1. Diseño Experimental

Cuadro 1. Diseño experimental del estudio.

Bloques	Tratamientos						
Repetición 1	TRT 6	TRT 1	TRT 4	TRT 2	TRT 5	TRT 3	TRT 7
Repetición 2	TRT 2	TRT 5	TRT 1	TRT 3	TRT 7	TRT 4	TRT 6
Repetición 3	TRT 7	TRT 6	TRT 5	TRT 1	TRT 3	TRT 2	TRT 4

Se evaluaron tres agentes antisolidificantes (tolueno, kerosene y Wintron XC30) en biodiesel puro de aceite de palma con un diseño de Bloques Completos al Azar (BCA) con tres repeticiones. Los bloques fueron las tres repeticiones. Se evaluó siete

tratamientos y tres repeticiones para un total de 21 unidades experimentales como se aprecia en el Cuadro 1.

Cuadro 2. Descripción de tratamientos.

TRT	Tratamientos (ml)	Concentración (%)	Kerosene (ml)	Tolueno (ml)	Wintron XC30 (ml)	Wintron XC30 (ml)
T1	Biodiesel (300)	100/0	1.5	0	-	-
T2	Biodiesel (300)	50/50	0.75	0.75	-	-
T3	Biodiesel (300)	0/100	0	1.5	-	-
T4	Biodiesel (300)	100	-	-	1.5	-
T5	Biodiesel (300)	100	-	-	-	3
T6	Biodiesel Control (300)	-	-	-	-	-
T7	Diesel Premium Control (300)	-	-	-	-	-

En el Cuadro 2 se puede apreciar en detalle la descripción individual para cada tratamiento.

3.4. ANÁLISIS DE LA MATERIA PRIMA

3.4.1. Acidez del aceite de palma africana (AOAC 940.28)

Se determinó la acidez en % de Ácidos Grasos Libres (AGL). Se realizó una muestra por duplicado antes de comenzar el estudio.

3.4.2. Índice de peróxidos (AOCS Cd 8-53)

Se determinó el índice de peróxidos en mili equivalentes de peróxido por kg de muestra. Se realizó un duplicado por cada botella de aceite de palma Clover Brand que se inició y un blanco.

3.4.3. Humedad del aceite de palma africana (AOAC 33.7.03)

Se determinó la humedad del aceite en porcentaje con base en el volumen de la muestra por el método AOAC 926.08. Se realizó un duplicado para observar algún indicio alto en la humedad.

3.4.4. Proceso de elaboración de biodiesel

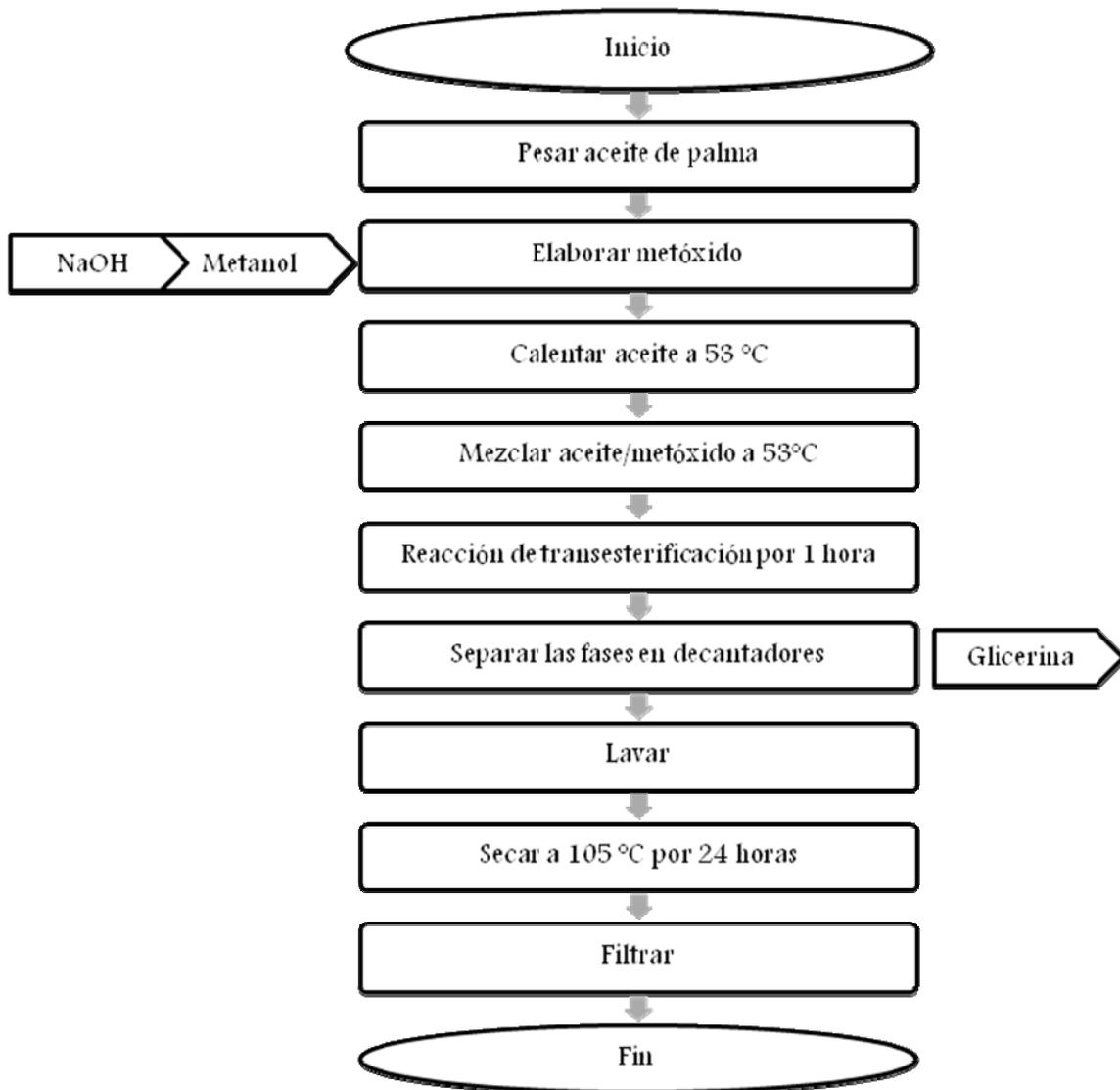


Figura 3. Elaboración del biodiesel

En la Figura 3 se puede apreciar el diagrama de flujo para la elaboración del biodiesel. Se pesaron 300 g de aceite de palma en beakers de 1000 ml. Después el aceite se calentó hasta llegar a 53- 55 °C. Por separado se mezclaron el metanol (23.7% del peso del aceite) y el hidróxido de sodio (NaOH) como catalizador (1% del peso del aceite) para obtener el metóxido. Una vez alcanzada la temperatura en el aceite en un rango entre los 53 y 55 °C y que el catalizador estuviera disuelto se procedió a mezclar ambas materias primas para dar inicio a la transesterificación. El tiempo de reacción fue 60 min. Al completarse el tiempo de reacción se procedió a colocar la matriz del beaker (que contiene biodiesel y los demás subproductos) en los decantadores hasta lograr una completa separación de las

fases. Se hizo el primer drenado de la matriz para eliminar subproductos como glicerina (color ámbar). Se adicionó el agua (1/3 del peso del aceite) a 53-55 °C. Después del primer lavado la muestra se dejó en reposo por 30 minutos. Se hizo el segundo drenado de la matriz para eliminar impurezas como el jabón que surgió en el proceso. Se adicionó el agua (1/3 del peso del aceite) para el segundo lavado a 53-55 °C. Después del segundo lavado la muestra se dejó en reposo por otros 30 minutos. Se hizo el tercer drenado de la matriz para eliminar las impurezas restantes. Se hizo hasta un cuarto lavado para asegurar la eliminación total de jabón y partículas de glicerina. El biodiesel se secó durante 24 hr en el horno a 105 °C asegurándose que cumpliera con la norma de la ASTM D6751 en humedad y residuos de glicerina. Se enfrió el biodiesel a 35-40 °C y por último se filtró a 35 °C con bomba al vacío.

3.5. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS DEL BIODIESEL

3.5.1. Viscosidad

Se midió viscosidad del biodiesel con el viscosímetro de Brookfield RVDVII. Se establecieron los parámetros de medición de la viscosidad: Número de agitador 1 (Spindle), velocidad 80 (RPM), unidades de medición (Centipoise). Método de Operación. Brookfield manual No. M/97-164-CO100 en un rango de 0 °C – 20 °C. Se utilizaron 300 ml del biodiesel en el rango de temperatura establecido. Los resultados se expresaron como el promedio de tres mediciones y fueron expresados en Pascales por segundo (Pa.s).

El método oficial ASTM D 445 cita que para determinar la viscosidad del biodiesel es necesario evaluar la viscosidad cinemática, sin embargo al determinar la densidad del biodiesel y la viscosidad dinámica de este, se puede obtener el dato de viscosidad cinemática.

3.5.2. CFPP visual y CFPP gráfica

Los datos que se evaluaron en este estudio dependieron de dos factores principalmente, el primero de ellos correspondió al CFPP visual, el cual se obtuvo a través de observar la aparición de pequeños cristales en el biodiesel. El segundo factor correspondió al CFPP gráfico, el cual se obtuvo al graficar temperatura (°C) vs. viscosidad (Pa.s) y obtener la temperatura en la cual se notó un cambio drástico en la curva (aumento de viscosidad).

3.5.3. Calorimetría (ASTM D2015-96)

Se evaluó el poder calorífico con una Bomba de oxígeno Parr Calorimétrica (calorímetro adiabático) (Laboratorio de carbones, 2005). Manual No. 160, Parr Instrument, Moline, IL, 1981 con el fin de evaluar el efecto de los aditivos antisolidificantes en la calidad del biodiesel, encontrando su máxima cantidad de energía al quemarse.

Muestras de 1 g aproximadamente fueron pesadas y colocadas en la bomba calorimétrica a una presión de 30 atm. La bomba se sumergió en 2 L de agua destilada. Luego de estabilizar la temperatura, la muestra y el oxígeno presurizado fueron quemados con auxilio de una unidad de ignición. La temperatura del agua aumentó y la diferencia entre las temperaturas final e inicial fue utilizada para calcular el poder calorífico. Los tratamientos fueron analizados por duplicado y se expresaron en KJ/g.

3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

3.6.1. Análisis estadístico del biodiesel

Se procedió a analizar los datos con la ayuda del programa SAS® versión 9.1. Se realizó un ANDEVA con una separación de medias TUKEY para evaluar el efecto en la viscosidad del biodiesel a la temperatura CFPP visual y CFPP grafica con las cantidades de tolueno y kerosene como aditivos antisolidificantes. Se evaluó también la combustión en KJ/g que generó cada tratamiento.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL ACEITE

4.1.1. Acidez del aceite de palma africana

La acidez del aceite de palma africana *Elaeis guineensis* fue 0.11% AGL, lo cual indicó que el aceite estaba en buenas condiciones para fabricar biodiesel.

4.1.2. Índice de peróxidos

Se encontró un índice de peróxidos aceptable por la norma AOCS expresados en cifra decimal del aceite de palma africana *Elaeis guineensis* de 1.48 meq O₂/kg.

4.1.3. Humedad del aceite de palma africana

Se determinó un valor de 0.5% de humedad para el aceite de palma africana lo que permitió una transesterificación libre de agua y evitó la hidrólisis de los ácidos grasos.

4.2. ANÁLISIS DE LA VISCOSIDAD DEL BIODIESEL

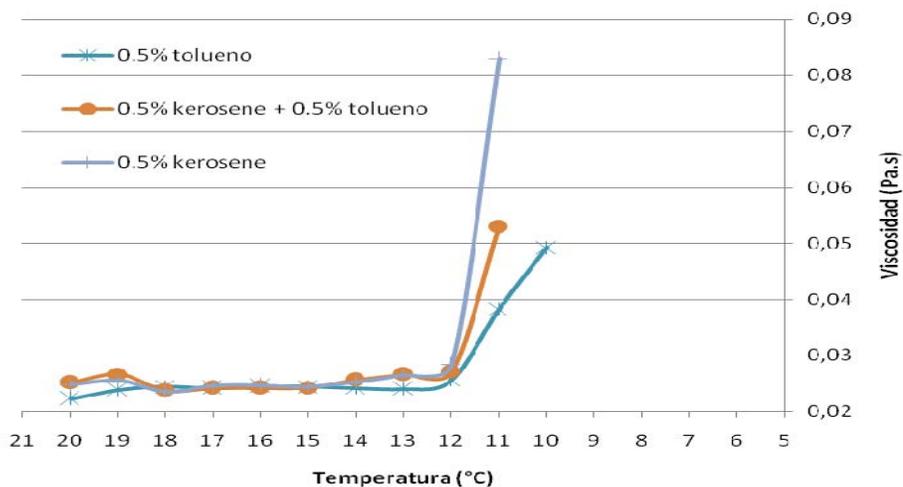


Figura 4. Comportamiento de la viscosidad en biodiesel con kerosene y tolueno.

En la Figura 4 se puede observar que la viscosidad del biodiesel de aceite de palma se mantuvo constante durante el enfriamiento de 20 °C a 13 °C y podía fluir, pero a medida que la temperatura comenzó a bajar y llegar al CFPP (12 °C en este estudio), la viscosidad del biodiesel con 0.5% kerosene, 0.5% kerosene + 0.5% tolueno y 0.5% tolueno aumentó de tal forma que no pudo fluir más.

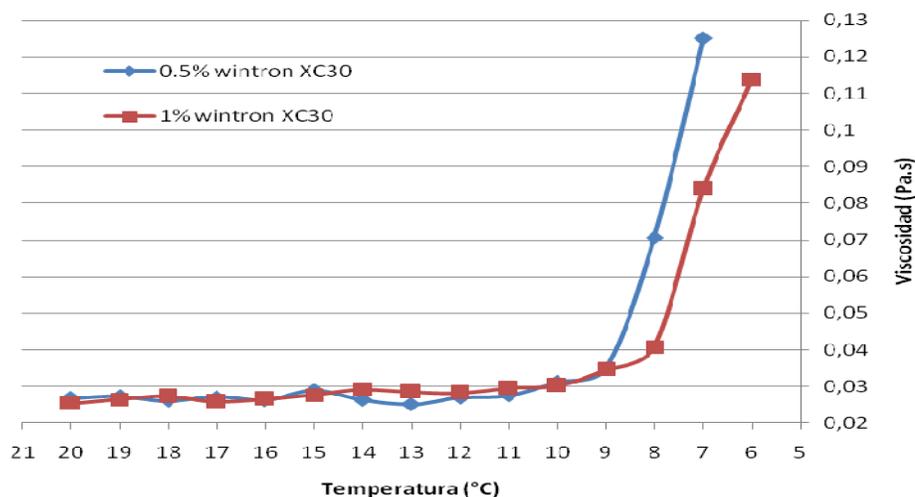


Figura 5. Comportamiento de la viscosidad en biodiesel con Wintron XC30.

En la Figura 5 se puede observar un comportamiento similar a los tratamientos anteriores, en los cuales la viscosidad del biodiesel de aceite de palma se mantuvo constante durante el enfriamiento de 20 °C a 10 °C, con la diferencia que los tratamientos con 0.5% y 1% Wintron XC30 alargaron el CFPP a 9 y 8 °C respectivamente.

Se puede observar también en la Figura 5 que hubo una reducción de 4 °C comparado con el biodiesel sin aditivos de la Figura 6. Esto resulta útil para lugares donde la temperatura baja a 8 °C.

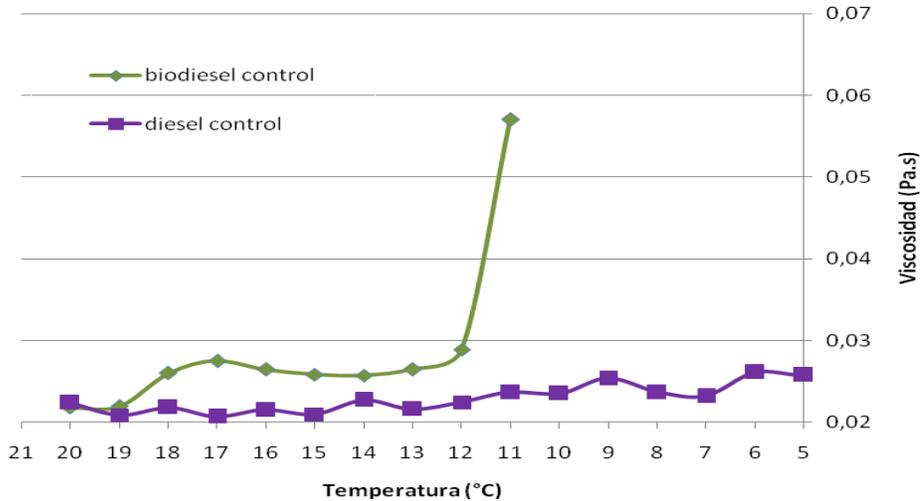


Figura 6. Comportamiento de la viscosidad en biodiesel y diesel fósil.

En la Figura 6 se puede observar que la viscosidad del biodiesel control de palma, se mantuvo constante durante el enfriamiento de 20 °C a 13 °C, pero a medida que se iba acercando a la temperatura CFPP (12 °C), su viscosidad aumentó de tal forma que no permitió fluidez. El diesel fósil se mantuvo fluido y su viscosidad no aumentó significativamente cuando se enfrió de 20 °C a 0 °C.

Cuadro 3. Análisis de Punto de Obturación de Filtro Frío del biodiesel con aditivos antisolidificantes.

Tratamiento	Temperatura CFPP visual	Temperatura CFPP gráfica
0.5% Kerosene + 0.5% Tolueno	12.33±0.34 ^a	12.00±0.36 ^a
Biodiesel control	12.33±0.34 ^a	12.00±0.36 ^a
0.5% Kerosene	12.00±0.34 ^a	12.00±0.36 ^a
0.5% Tolueno	12.00±0.34 ^a	11.33±0.36 ^a
1% Wintron XC30	10.00±0.34 ^b	8.00±0.36 ^b
0.5% Wintron XC30	10.00±0.34 ^b	8.67±0.36 ^b

* Medias seguidas con diferente letra en las columnas son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

En el Cuadro 3 se puede apreciar que los tratamientos 1% Wintron XC30 (TRT 5) y 0.5% Wintron XC30 (TRT 4) fueron significativamente más eficaces en disminuir la temperatura CFPP visual en 2 °C y la temperatura CFPP gráfica en 4 °C que los tratamientos evaluados con kerosene y tolueno comparado con el biodiesel de palma sin aditivos.

Esta reducción de 4 °C fue útil, ya que según Ahmad y Rupilius (2007), el CFPP del biodiesel de aceite de palma es 10 °C y se logró obtener datos de 8 °C con los tratamientos Wintron XC30 al 1% y Wintron XC30 al 0.5% con respecto al control de biodiesel.

Orellana (2008), encontró que la temperatura de enturbiamiento fue 14.3 °C, pero el uso del aditivo Wintron XC30 logró bajar la temperatura en 6 °C. Mientras que Quezada (2007), determinó que la temperatura de enturbiamiento fue 6.6°C. Este resultado contradice la literatura, la cual especifica que el CFPP del biodiesel de palma es 10 °C, sin embargo los resultados de Quezada pudieron provenir del uso de una materia prima (aceite de palma africana) diferente a la usada en este estudio.

Con este estudio se comprobó que el uso del biodiesel no se limitará a los lugares donde la temperatura baje a 8 °C siempre y cuando se use 0.5% Wintron XC30.

Se comprobó que subir la concentraciones de 0.5% a 1% de Wintron XC30 no disminuyó significativamente el CFPP visual y CFPP gráfica. Se comprobó también que los tratamientos a los cuales se le adicionó aditivos con 0.5% Kerosene + 0.5% Tolueno (TRT 2), 0.5% Kerosene (TRT 1) y 0.5% Tolueno (TRT 3) no tuvieron ningún efecto en la disminución de la temperatura CFPP, comparados con el control (TRT 6).

Para la variable CFPP visual, se obtuvo un $R^2 = 0.94$, lo que indicó que el 94 % de los datos se ajustaron al modelo. El coeficiente de variación fue de 3.05% lo que indicó que el experimento fue concluido exitosamente ya que el C.V. de laboratorio debe ser <10%.

Para la variable CFPP gráfica, se obtuvo un $R^2 = 0.97$, lo que indicó que el 97 % de los datos se ajustaron al modelo. El coeficiente de variación fue de 3.42% lo que indicó que el experimento fue concluido correctamente ya que el C.V. de laboratorio debe ser $<10\%$.

Se concluyó que la forma más exacta y precisa para determinar el punto de obturación de filtro frío del biodiesel de palma africana fue con la variable CFPP gráfica.

4.3. ANÁLISIS DE LA CALORIMETRÍA DEL BIODIESEL

Cuadro 4. Análisis del efecto de los antisolidificantes en la energía bruta del biodiesel.

Tratamiento	Calorimetría (cal/g)	Energía bruta (KJ/g)
0.5% Tolueno	11,690.8 \pm 320.34 ^a	48.91 \pm 1.34 ^a
0.5% Wintron XC30	11,661.1 \pm 320.34 ^a	48.78 \pm 1.34 ^a
1% Wintron XC30	11,440.0 \pm 320.34 ^{ab}	47.86 \pm 1.34 ^{ab}
0.5% Kerosene + 0.5% Tolueno	11,220.8 \pm 320.34 ^{abc}	46.95 \pm 1.34 ^{abc}
Diesel Control	10,635.3 \pm 320.34 ^{bc}	44.49 \pm 1.34 ^{bc}
0.5% Kerosene	10,355.1 \pm 320.34 ^{cd}	43.32 \pm 1.34 ^{cd}
Biodiesel control	9,712.4 \pm 320.34 ^c	40.63 \pm 1.34 ^d

* Medias seguidas con diferente letra en las columnas son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

La energía bruta de los biodiesel evaluados se puede observar en el Cuadro 4. La mayor cantidad de energía se produjo al quemar las muestras de biodiesel con tolueno al 0.5%, Wintron XC30 al 0.5%, Wintron XC30 al 1% y keroseno + tolueno al 0.5 % las cuales no muestran diferencia significativa con medias de 48.91 KJ/g, 48.78 KJ/g, 47.86 KJ/g y 46.95 KJ/g respectivamente.

Es importante notar que siendo Wintron XC30 el único aditivo antisolidificante en este estudio, redujo la energía bruta al aumentar la concentración de 0.5% a 1%. Existe una razón científica para explicar este suceso, sin embargo no se conoce la composición química del producto. Los proveedores como Celtic Power (2007), recomiendan no usar altas concentraciones del aditivo Wintron XC30 ya que disminuyen el poder calorífico del biodiesel.

La energía bruta del biodiesel y diesel (controles) fue 40.63 KJ/g y 44.49 KJ/g respectivamente, comparando estos resultados con la energía bruta al agregarle aditivos, se observó un aumento de 16.71% en el biodiesel con 0.5% de Wintron XC30, el cual presentó la mejor eficiencia en disminuir el CFPP con 48.78 KJ/g.

Se comprobó también que la adición de 0.5% kerosene y el control de biodiesel fueron los que mostraron un valor de energía de combustión menor, con medias de 43.32 KJ/g y 40.63 KJ /g respectivamente.

Para la variable calorimetría, se obtuvo un $R^2 = 0.89$, lo que indica que el 89% de los datos se ajustaron al modelo. El coeficiente de variación fue de 2.9% lo que indicó que el experimento fue concluido correctamente ya que el C.V. de laboratorio debe ser <10%.

4.4. ANÁLISIS DE COSTOS

4.4.1. Costos de producción de biodiesel por ruta metílica

El Cuadro 5 muestra que el costo para elaborar una tanda de biodiesel utilizando 900 g (1.001 L) de aceite fue L. 92.20.

Cuadro 5. Análisis de costos variables de biodiesel por ruta metílica.

Materias Primas	Precio (L.)	Unidad	Cantidad	Costo (L.)
Aceite Clover	163.70	g	0.260	42.61
Metanol	171.14	L	0.2676	45.8
Hidróxido de sodio (NaOH)	422.00	kg	0.009	3.80
Total de costos				92.20

En el Cuadro 6 se muestra la comparación en costos entre los tratamientos, basados en tandas de 1 L de biodiesel. A los tratamientos que incluyen aditivos se les sumó el costo de la cantidad en L del aditivo correspondiente.

Cuadro 6. Costos variables por tratamiento.

Tratamiento	Precio L/tanda
Biodiesel control	94.56
0,5% Kerosene	94.65
0,5% Kerosene + 0,5% Tolueno	95.62
0,5% Tolueno	96.36
0,5% Wintron XC30	96.41
1% Wintron XC30	98.25
Diesel control*	21.38

Según los datos mostrados en el Cuadro 6, el costo variable para la producción de biodiesel en el laboratorio LAAZ (control) es de L. 94.56/tanda, comparando este resultado con los costos variables al adicionarles los aditivos, se observó un aumento en el costo por tanda ya que la adición de estos aditivos no generan mayor o menor rendimiento en el biodiesel y por tanto, generan el incremento del costo de producción. Se puede observar también que comprar diesel fósil fue 4 veces (77.39%) más económico que elaborar biodiesel en el laboratorio, ya que el diesel costó L. 21.38/Litro. Esta diferencia estuvo fuertemente ligada con los costos de la materia prima que actualmente sufren un aumento.

El costo de producción de biodiesel con 0.5% Wintron XC30 fue L. 96.41/Litro, aumentando un 1.92% el costo de producción del biodiesel sin aditivos y un 77.82% comparado con la compra de 1 L de diesel fósil.

* Agencia ACAN-EFE. 2008. Sube precio de gasolina, pero baja diesel en Honduras (en línea). Tegucigalpa, Honduras.

5. CONCLUSIONES

- Wintron XC30 fue un aditivo antisolidificante eficaz para bajar la temperatura de enturbiamiento del biodiesel de aceite de palma, pero no lo suficiente para usarse en temperaturas de invierno menores a 8 °C.
- El único aditivo capaz de disminuir el CFPP y aumentar la energía bruta en 16.71% del biodiesel fue el Wintron XC30.
- Las concentraciones de kerosene y tolueno evaluadas no fueron eficaces como aditivos antisolidificantes para el biodiesel de aceite de palma.
- El costo de producción de biodiesel a nivel de laboratorio fue de L. 94.56/Litro, 77.39% más costoso que comprar un L de diesel. Esto como consecuencia del aumento de precios en las materias primas por la crisis mundial de alimentos que sufre hoy el mundo.

6. RECOMENDACIONES

- Elaborar un estudio para evaluar el efecto de almacenar el biodiesel de palma con el Wintron XC30 a temperaturas de refrigeración.
- Elaborar un estudio para evaluar el biodiesel de aceite de palma africana con Wintron XC30 en motores.
- Crear un laboratorio de energías renovables e invertir en el equipo necesario para medir los parámetros de calidad de biodiesel que la ASTM indica.
- Continuar las investigaciones de elaboración de biodiesel con el uso de materias primas que no sean para consumo humano para contrarrestar la crisis mundial de alimentos.

7. BIBLIOGRAFÍA

Agencia ACAN-EFE. 2008. Subió precio de gasolinas, pero baja el diesel en Honduras (en línea). Citado por La Primerísima (2008). Consultado el 28 de septiembre de 2008. Disponible en: <http://www.radiolaprimerisima.com/noticias/resumen/36704>

Ahmad, S y Rupilius, W. 2007. Palm oil and palm oil as raw materials for basic oleochemicals and biodiesel (en línea). Consultado el 9 de octubre de 2008. Disponible en: <http://www.aginternetwork.net/whalecomwww3.interscience.wiley.com/whalecom0/cgi-bin/fulltext/114190047/PDFSTART>

ASTM. 2008. ASTM D6371 - 05 Standard Test Method for Cold Filter Plugging Point of Diesel and Heating Fuels (en línea). Consultado 26 de mayo de 2008. Disponible en: <http://www.astm.org/Standards/D6371.htm>

Biofuel Systems. 2008. Wintron XC30 - Biodiesel winter additive (en línea). Consultado el 8 de junio de 2008. Disponible en: <http://www.biofuelsystems.com/wintron.htm>

Caty. 2008. Biocombustibles y crisis alimentaria (en línea). Consultado el 4 de septiembre de 2008. Disponible en: <http://www.rebellion.org/noticia.php?id=66452>

Celtic Power. 2007. Wintron XC30 (en línea). Consultado el 5 de septiembre de 2007. Disponible en: <http://translate.google.com/translate?hl=es&sl=en&u=http://www.celticpower.ca/page18.html&sa=X&oi=translate&resnum=3&ct=result&prev=/search%3Fq%3Dwintron%2Bxc30%26hl%3Des%26sa%3DX>

Cía. Química y Agroquímica Argentina S.A. 2008. Solvente aromático Tolueno (en línea). Consultado el 29 de octubre de 2008. Disponible en: <http://www.ciaquimica.com.ar/productos/quimicos/detalles/aromaticos/tolueno.html>

CITUC. 2006. Peligros del tolueno (en línea). Consultado el 3 de octubre de 2007. Disponible en: <http://www.cituc.cl/tolueno.html>

Embajada de Estados Unidos en Honduras. 2008. El futuro de la palma africana en Honduras (en línea). Consultado el 17 de septiembre de 2008. Disponible en: http://honduras.usembassy.gov/embajada/secciones/econ_afpalm_sp.pdf

Laboratorio de carbones. 2005. Norma ASTM para poder calorífico (en línea). Consultado el 10 de octubre de 2008. Disponible en: <http://www.unalmed.edu.co/~maesinge/labcarbones/servicios.html>

Ministerio de Medio Ambiente. 2007. Tolueno (en línea). Consultado 17 de septiembre de 2008. Disponible en: <http://www.prtr-es.es/Tolueno,15660,11,2007.html>

NBB, 2002. Biodiesel production and quality. (en línea). Consultado el 24 de septiembre de 2008. Disponible en: http://www.biodiesel.org/pdf_files/prod_quality.pdf.

Nextfuel. 2006. ¿Qué es el biodiesel? (en línea). Consultado 15 de septiembre de 2008. Disponible en: http://www.biodiesel.com.ar/?page_id=3

Orellana, JJ (2007). Evaluación de calidad de biodiesel elaborado con palma africana (*Elaeis guineensis*) y etanol. 18-19p.

Pontificia Universidad de Puerto Rico Departamento de química. 2003. Módulo propiedades coligativas de soluciones (en línea). Consultado 29 de octubre de 2008. Disponible en: http://www.pucpr.edu/titulov/componente_quimica/PropColigativas.pdf

Quezada, JC (2007). Evaluación de la energía de combustión y otros parámetros físico-químicos del biodiesel obtenido a partir de cinco aceites vegetales. 30-31p.

Thomas Scientific. 2007. Tolueno (en línea). Consultado el 1 de octubre de 2007. Disponible en: <http://www.thomassci.com/catalog/product/31068>

Wei-Chiu, C., Schumacher, LG., Suppes, GJ. 2004. Impact of cold flow improvers on soybean biodiesel blend (en línea). Consultado el 9 de octubre de 2008. Disponible en: http://www.aginternetnetwork.net/whalecomwww.sciencedirect.com/whalecom0/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V22-4CVRKD8-2&_user=2789858&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_view=c&_version=1&_urlVersion=0&_userid=2789858&_md5=683a36d97f9530153685b4cfb8957661

Wikipedia. 2007. Kerosene (en línea). Consultado 10 de septiembre de 2007. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Queroseno>

8. ANEXOS

Anexo 1. Formato de evaluación de la viscosidad del biodiesel.

0,5% Kerosene		VISCOSIDAD Tratamiento 1						
Repetición	Temperaturas	cP 1	cP 2	Prom cP	Pa.s	% torque 1	% torque 2	Prom % torque
1	20	26,4	27,1	26,75	0,02675	21,1	21,7	21,4
1	19	29,5	28,6	29,05	0,02905	23,6	22,9	23,25
1	18	27,9	26,66	27,28	0,02728	22,3	21,3	21,8
1	17	29	27	28	0,028	23,2	21,6	22,4
1	16	26,1	26,1	26,1	0,0261	20,9	20,9	20,9
1	15	24	24,1	24,05	0,02405	19,2	19,3	19,25
1	14	26,3	26,1	26,2	0,0262	21	20,9	20,95
1	13	26,7	26,5	26,6	0,0266	21,4	21,2	21,3
1	12	28,6	30	29,3	0,0293	22,9	24	23,45
1	11	53,5	91,2	72,35	0,07235	42,8	71,2	57
2	20	23,4	23,3	23,35	0,02335	18,7	18,6	18,65
2	19	23,1	23	23,05	0,02305	18,5	18,4	18,45
2	18	21,6	21,5	21,55	0,02155	17,3	17,2	17,25
2	17	22	23,5	22,75	0,02275	17,6	18,8	18,2
2	16	24,1	23,4	23,75	0,02375	19,3	18,7	19
2	15	25	24,4	24,7	0,0247	20	19,5	19,75
2	14	22,8	25,3	24,05	0,02405	18,2	20,2	19,2
2	13	25,9	26,6	26,25	0,02625	20,7	21,3	21
2	12	25,5	26,5	26	0,026	20,4	21,2	20,8
2	11	90,4	91,3	90,85	0,09085	72,3	71,3	71,8
3	20	24,1	24,4	24,25	0,02425	19,3	19,5	19,4
3	19	24,5	24,8	24,65	0,02465	19,6	19,9	19,75
3	18	21,6	22,1	21,85	0,02185	17,3	17,7	17,5
3	17	23,5	22,8	23,15	0,02315	18,8	18,2	18,5
3	16	24,1	24,4	24,25	0,02425	19,3	19,5	19,4
3	15	24	25	24,5	0,0245	19,2	20	19,6
3	14	25,3	26,1	25,7	0,0257	20,2	20,9	20,55
3	13	26,7	26,6	26,65	0,02665	21,4	21,3	21,35
3	12	29,5	29,7	29,6	0,0296	23,6	23,8	23,7
3	11	86,8	84,5	85,65	0,08565	69,5	67,6	68,55

0,5% Ker + 0,5% Tol		VISCOSIDAD Tratamiento 2						
Repetición	Temperaturas	cP 1	cP 2	Prom cP	Pa.s	% torque 1	% torque 2	Prom % torque
1	20	25	26	25,5	0,0255	20	20,8	20,4
1	19	27,4	27	27,2	0,0272	21,9	21,6	21,75
1	18	26	23	24,5	0,0245	20,9	18,4	19,65
1	17	24,5	23,5	24	0,024	19,6	18,8	19,2
1	16	24	24,5	24,25	0,02425	19,2	19,6	19,4
1	15	25,3	24	24,65	0,02465	20,2	19,2	19,7
1	14	28,5	25,5	27	0,027	22,8	20,4	21,6
1	13	25	27,2	26,1	0,0261	20	21,8	20,9
1	12	26,4	31,6	29	0,029	21,1	25,3	23,2
1	11	86,9	104,4	95,65	0,09565	69,6	83,5	76,55
2	20	23,6	25,6	24,6	0,0246	18,9	20,5	19,7
2	19	26	26,3	26,15	0,02615	20,8	21	20,9
2	18	24	22,1	23,05	0,02305	19,2	17,7	18,45
2	17	24	25	24,5	0,0245	19,2	20	19,6
2	16	23,4	25,1	24,25	0,02425	18,7	20,1	19,4
2	15	23	25,4	24,2	0,0242	18,4	20,3	19,35
2	14	23,8	25,5	24,65	0,02465	19	20,4	19,7
2	13	26,6	26,9	26,75	0,02675	21,3	21,5	21,4
2	12	26,4	25	25,7	0,0257	21,1	20	20,55
2	11	31,7	31,9	31,8	0,0318	25,4	25,5	25,45
3	20	25	25,5	25,25	0,02525	20	20,4	20,2
3	19	26,3	27	26,65	0,02665	21	21,6	21,3
3	18	23,2	24,1	23,65	0,02365	18,6	19,3	18,95
3	17	24,4	24	24,2	0,0242	19,5	19,2	19,35
3	16	23,8	24,5	24,15	0,02415	19	19,6	19,3
3	15	25,2	23	24,1	0,0241	20,1	18,4	19,25
3	14	25,7	25	25,35	0,02535	20,7	20	20,35
3	13	26,7	27,3	27	0,027	21,4	21,9	21,65
3	12	26,5	26,6	26,55	0,02655	21,2	21,3	21,25
3	11	31,6	32,1	31,85	0,03185	25,3	25,7	25,5

0,5% Tolueno		VISCOSIDAD Tratamiento 3						
Repetición	Temperaturas	cP 1	cP 2	Prom cP	Pa.s	% torque 1	% torque 2	Prom % torque
1	20	24	24,7	24,35	0,02435	19,2	19,8	19,5
1	19	25,5	25,5	25,5	0,0255	20,4	20,4	20,4
1	18	27	27,2	27,1	0,0271	21,6	21,8	21,7
1	17	23,8	23,5	23,65	0,02365	19	18,8	19
1	16	27,4	24,7	26,05	0,02605	21,8	19,8	20,8
1	15	24	25,1	24,55	0,02455	19,2	20,1	19,65
1	14	25	26,1	25,55	0,02555	20	20,9	20,45
1	13	23,8	23,8	23,8	0,0238	19	19	19
1	12	25,1	24	24,55	0,02455	20,2	19,2	19,7
1	11	48	53,5	50,75	0,05075	38,4	42,8	40,6
1	10	58,9	60,3	59,6	0,0596	49,2	50,6	49,9
2	20	20	22,4	21,2	0,0212	16	17,9	16,95
2	19	23,3	22,6	22,95	0,02295	18,6	18,1	18,35
2	18	23,6	21	22,3	0,0223	18,9	16,8	17,85
2	17	22,8	22,9	22,85	0,02285	18,2	18,3	18,25
2	16	24,2	24,4	24,3	0,0243	19,4	19,5	19,45
2	15	24,4	24,5	24,45	0,02445	19,5	19,6	19,55
2	14	23	25,4	24,2	0,0242	18,4	20,3	19,35
2	13	24,4	24,1	24,25	0,02425	19,5	19,3	19,4
2	12	26	25,5	25,75	0,02575	20,8	20,4	20,6
2	11	31,3	31,7	31,5	0,0315	25	25,4	25,2
2	10	39	45,7	42,35	0,04235	31,2	36,5	33,85
3	20	21	21,5	21,25	0,02125	16,8	17,2	17
3	19	22,7	23,6	23,15	0,02315	18,1	18,9	18,5
3	18	24,5	23,5	24	0,024	19,5	18,8	19,15
3	17	26,1	26	26,05	0,02605	20,9	20,8	20,85
3	16	23,4	22,9	23,15	0,02315	18,7	18,3	18,5
3	15	24,2	24,6	24,4	0,0244	19,3	19,7	19,5
3	14	23,1	22,8	22,95	0,02295	18,5	18,2	18,35
3	13	23,9	24,1	24	0,024	19,1	19,3	19,2
3	12	26,2	27	26,6	0,0266	21	21,6	21,3
3	11	31,6	33,7	32,65	0,03265	25,3	28,1	26,7
3	10	44,8	46,7	45,75	0,04575	36	37,5	36,75

0,5% Wintron XC30		VISCOSIDAD Tratamiento 4						
Repetición	Temperaturas	cP 1	cP 2	Prom cP	Pa.s	% torque 1	% torque 2	Prom% torque
1	20	31,3	31,4	31,35	0,03135	25	25,1	25,05
1	19	30,4	27,4	28,9	0,0289	24,3	21,9	23,1
1	18	28,4	28	28,2	0,0282	22,7	23,1	22,9
1	17	28,5	28	28,25	0,02825	22,8	22,4	22,6
1	16	29,4	29,6	29,5	0,0295	23,5	23,7	23,6
1	15	31,7	31	31,35	0,03135	25,4	24,9	25,15
1	14	28,1	27,9	28	0,028	22,5	22,3	22,4
1	13	26,4	26,3	26,35	0,02635	21,3	21	21,15
1	12	30	28,5	29,25	0,02925	24	22,8	23,4
1	11	29,7	29,9	29,8	0,0298	23,8	23,9	23,85
1	10	35,1	33,1	35,1	0,0351	28,1	26,5	27,3
1	9	37,5	42	39,75	0,03975	30	33,6	31,8
1	8	49,3	51,6	50,45	0,05045	39,4	41,3	40,35
1	7	125	125,1	125,05	0,12505	100	100	100
2	20	23,6	25,9	24,75	0,02475	18,9	20,7	19,8
2	19	24,2	27,2	25,7	0,0257	19,4	21,8	20,6
2	18	24,5	24,2	24,35	0,02435	19,6	19,4	19,5
2	17	26,3	26,3	26,3	0,0263	21	21	21
2	16	23,1	25,4	24,25	0,02425	18,5	20,3	19,4
2	15	27,9	27,5	27,7	0,0277	22,3	22	22,15
2	14	25	25	25	0,025	20	20	20
2	13	24,6	24,6	24,6	0,0246	19,7	19,7	19,7
2	12	26,1	25,1	25,6	0,0256	20,9	20,1	20,5
2	11	26	26,1	26,05	0,02605	20,8	20,9	20,85
2	10	28	30	29	0,029	22,4	24	23,2
2	9	32,1	32,8	32,45	0,03245	25,7	26,2	25,95
2	8	78,5	84,8	81,65	0,08165	62,8	67,8	65,3
3	20	23,8	25	24,4	0,0244	19,1	20	19,55
3	19	27,1	27,1	27,1	0,0271	21,7	21,2	21,45
3	18	25,6	25,8	25,7	0,0257	20,4	20,6	20,5
3	17	26,5	27,3	26,9	0,0269	21,2	21,9	21,55
3	16	24,5	25,1	24,8	0,0248	19,6	20,1	19,85
3	15	27,2	28,5	27,85	0,02785	21,8	22,9	22,35
3	14	25,8	26	25,9	0,0259	20,6	20,8	20,7
3	13	24,2	24,1	24,15	0,02415	19,4	19,3	19,35
3	12	26	25,8	25,9	0,0259	20,8	20,6	20,7
3	11	26,5	26,7	26,6	0,0266	21,3	21,5	21,4
3	10	28,3	30,1	29,2	0,0292	22,7	24,1	23,4
3	9	32,1	33,3	32,7	0,0327	25,7	26,7	26,2
3	8	79,3	80,1	79,7	0,0797	63,4	64,2	63,8

1% Wintron XC30		VISCOSIDAD Tratamiento 5						
Repetición	Temperaturas	cP 1	cP 2	Prom cP	Pa.s	% torque 1	% torque 2	Prom % torque
1	20	27,2	28,3	27,75	0,02775	21,8	22,6	22,2
1	19	28,1	27	27,55	0,02755	22,5	21,6	22,05
1	18	26,7	29,2	27,95	0,02795	21,4	23,4	22,4
1	17	24,6	26,5	25,55	0,02555	19,7	21,2	20,45
1	16	27	27	27	0,027	21,6	21,6	21,6
1	15	29,9	28,6	29,25	0,02925	23,9	22,9	23,4
1	14	27,9	29	28,45	0,02845	17,6	17,2	17,4
1	13	28	28,9	28,45	0,02845	18,2	18,4	18,3
1	12	30,6	30,6	30,6	0,0306	24,5	24,5	24,5
1	11	30,6	32,1	31,35	0,03135	24,5	25,7	25,1
1	10	30,1	33,1	31,6	0,0316	24,1	26,5	25,3
1	9	35,4	37	36,2	0,0362	28,3	29,6	28,95
1	8	45,5	44,9	45,2	0,0452	36,3	35,9	36,1
1	7	106,4	101,8	104,1	0,1041	85,1	81,5	83,3
2	20	24,4	22,2	23,3	0,0233	19,5	17,8	18,65
2	19	26,3	25,3	25,8	0,0258	21	20,2	20,6
2	18	25,8	28,1	26,95	0,02695	20,6	22,5	21,55
2	17	26,3	25,5	25,9	0,0259	21	20,4	20,7
2	16	26,4	26,5	26,45	0,02645	21,1	21,2	21,15
2	15	26,5	26,3	26,4	0,0264	21,2	21	21,1
2	14	30,3	28,8	29,55	0,02955	24,2	23	23,6
2	13	29,7	28	28,85	0,02885	23,8	22,4	23,1
2	12	27,5	26,4	26,95	0,02695	22	21,1	21,55
2	11	26,3	28,8	27,55	0,02755	21	23	22
2	10	28,5	28,9	28,7	0,0287	22,8	23,1	22,95
2	9	34,4	32,5	33,45	0,03345	27,5	26	26,75
2	8	38,8	38,9	38,85	0,03885	31	31,1	31,05
2	7	72,5	75,1	73,8	0,0738	58	60,1	59,05
2	6	111	116,3	113,65	0,11365	88,9	93	90,95
3	20	25	24,5	24,75	0,02475	20	19,6	19,8
3	19	26,5	25,4	25,95	0,02595	21,2	20,3	20,75
3	18	27,4	26,3	26,85	0,02685	22	21	21,5
3	17	26,2	25,7	25,95	0,02595	20,9	20,7	20,8
3	16	26,1	26,3	26,2	0,0262	20,9	21	20,95
3	15	27	27,8	27,4	0,0274	21,6	22,4	22
3	14	28,7	29,5	29,1	0,0291	22,9	23,6	23,25
3	13	28,1	28,3	28,2	0,0282	22,5	22,7	22,6
3	12	27,7	26,5	27,1	0,0271	22,2	21,2	21,7
3	11	28,9	30,2	29,55	0,02955	23,1	24,2	23,65
3	10	30,5	29,7	30,1	0,0301	24,6	23,8	24,2
3	9	34,2	33,9	34,05	0,03405	27,3	27	27,15
3	8	38,9	37,9	38,4	0,0384	31,3	30,2	30,75
3	7	72,5	75,6	74,05	0,07405	58	60,7	59,35

Biodiesel Control		VISCOSIDAD Tratamiento 6						
Repetición	Temperaturas	cP 1	cP 2	Prom cP	Pa.s	% torque 1	% torque 2	Prom % torque
1	20	20,8	22,8	21,8	0,0218	16,6	18,2	17,4
1	19	25	20,5	22,75	0,02275	20	16,4	18,2
1	18	25,3	32	28,65	0,02865	20,2	25,6	22,9
1	17	32,5	31,5	32	0,032	26	25,2	25,6
1	16	28,3	28,4	28,35	0,02835	22,6	22,7	22,65
1	15	32,2	28,3	30,25	0,03025	25,8	22,6	24,2
1	14	29	29,2	29,1	0,0291	23,2	23,3	23,25
1	13	30,5	29,4	29,95	0,02995	24,4	23,5	23,95
1	12	29,2	27,1	28,15	0,02815	23,4	21,7	22,55
1	11	84,1	84,4	84,25	0,08425	67,3	67,5	67,4
2	20	21,5	21,7	21,6	0,0216	17,2	17,4	17,3
2	19	21,9	21,6	21,75	0,02175	17,5	17,3	17,4
2	18	24	25,6	24,8	0,0248	19,2	20,5	19,85
2	17	25,1	25,5	25,3	0,0253	20,1	20,4	20,25
2	16	25,9	25,6	25,75	0,02575	20,7	20,5	20,6
2	15	23,1	23,8	23,45	0,02345	18,5	19	18,75
2	14	24,1	24,2	24,15	0,02415	19,3	19,4	19,35
2	13	24	24,1	24,05	0,02405	19,2	19,3	19,25
2	12	29,9	29,1	29,5	0,0295	23,9	23,3	23,6
2	11	39,7	44,1	41,9	0,0419	31,8	35,3	33,55
3	20	21,4	22,5	21,95	0,02195	17,1	17,9	17,5
3	19	21,9	20,6	21,25	0,02125	17,5	6,5	12
3	18	24,3	24,7	24,5	0,0245	19,5	19,8	19,65
3	17	25,4	25	25,2	0,0252	20,3	20	20,15
3	16	25,9	24,7	25,3	0,0253	20,7	19,8	20,25
3	15	24,1	23,6	23,85	0,02385	19,3	18,8	19,05
3	14	23,8	24,1	23,95	0,02395	19,1	19,3	19,2
3	13	25,2	25,7	25,45	0,02545	20,2	20,6	20,4
3	12	29,3	28,6	28,95	0,02895	23,5	22,9	23,2
3	11	45,2	44,8	45	0,045	36,4	36	36,2

Anexo 2. Cuadros del SAS para viscosidad.

Variable dependiente: CFPP visual				
	DF	Suma Cuadrados	Valor F	Probabilidad
Modelo	7	19.22	22.47	<.0001
TRT	5	19.11	31.27	<.0001
BLK	2	0.11	0.45	0.6472

Variable dependiente: CFPP gráfica				
	DF	Suma Cuadrados	Valor F	Probabilidad
Modelo	7	50.66	54.29	<.0001
TRT	5	50.66	76.00	<.0001
BLK	2	0.00	0.00	1.0000

Anexo 3. Cuadros del SAS para calorimetría.

Variable dependiente: Calorimetría				
	DF	Suma Cuadrados	Valor F	Probabilidad
Modelo	8	10,194100.01	12.42	<.0001
TRT	6	10,055481.93	16.33	<.0001
BLK	2	138618.08	0.68	0.5273