

**Producción y evaluación de biodiesel a partir  
de aceite de girasol (*Heliantus annuus*) de  
desecho del comedor estudiantil de  
Zamorano.**

**Juan Rodrigo Rodríguez Castañeda**

**Honduras**  
Diciembre 2006

ZAMORANO  
CARRERA DE AGROINDUSTRIA

**Producción y evaluación de biodiesel a partir  
de aceite de girasol (*Heliantus annuus*) de  
desecho del comedor estudiantil de  
Zamorano.**

Proyecto de graduación presentado como requisito parcial  
para optar al título de Ingeniero en Agroindustria  
en el grado académico de licenciatura.

presentado por:

**Juan Rodrigo Rodríguez Castañeda**

**Honduras**  
Diciembre, 2006

El autor concede a Zamorano permiso para reproducir y distribuir copias de este trabajo para fines educativos. Para otras personas físicas o jurídicas se reservan los derechos de autor.

---

**Juan Rodrigo Rodríguez Castañeda**

**Honduras**  
Diciembre, 2006

**Producción y evaluación de biodiesel a partir de aceite de girasol (*Heliantus annuus*) de desecho del comedor estudiantil de Zamorano.**

presentado por:

**Juan Rodrigo Rodríguez Castañeda**

Aprobado:

---

Francisco Javier Bueso, Ph.D.  
Asesor Principal

---

Raúl Espinal, Ph.D.  
Director  
Carrera de Agroindustria

---

Francisco Álvarez, M.A.E.  
Asesor

---

George Pilz, Ph.D.  
Decano Académico

---

Kenneth Hoadley, D.B.A.  
Rector

## **DEDICATORIA**

A Dios por guiar mi camino durante estos cuatro años, iluminarme y por nunca haberme desamparado.

A mi padre, Rodrigo, por ser mi inspiración y por haberme apoyado siempre durante mi vida, por sus consejos y buenos ratos compartidos.

A mi madre, Doris, por siempre tener fe y por sus incansables oraciones y por darme las herramientas necesarias para ser un hombre de bien.

Al Dr. Antonio Flores por haber confiado en mí y haberme dado la oportunidad de seguir con mis estudios en Zamorano.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por nunca desampararme y darme las fuerzas para realizar este estudio.

A mi familia por todo su apoyo y cariño.

Al Dr. Francisco Javier Bueso por compartir sus conocimientos, por sus consejos y por su amistad.

Al Ing. Francisco Álvarez por todo el apoyo brindado durante la realización del estudio.

A mi amiga Ana María Cáceres por ser mi inspiración y siempre estar ahí.

A mis amigos Andrés V., Herbert, Pablo, Carlos y Andrés S. por su amistad y apoyo brindado.

A Pablo Longo, Carlos Natareno y Johnny Handal por haber compartido cuarto conmigo.

A mi amigo Daniel Rivas por su amistad y paciencia.

A mis demás amigos por hacer más amena la vida universitaria.

A Fernanda Crousillat por hacerme reír tanto y pasar buenos ratos.

Al Ing. Víctor Taleón y a Iván Maradiaga por su apoyo y consejos técnicos.

A Wilfredo Bustillo por su apoyo.

A Santos, Carlos Julio y Chavarría por su indispensable ayuda durante la realización del estudio.

A Tirsa Montés por su valiosa colaboración

Al departamento de electricidad por todo el apoyo brindado.

A todas las personas que directa o indirectamente colaboraron con la realización de este estudio.

## **AGRADECIMIENTO A PATROCINADORES**

A mi padre Rodrigo, por todo su esfuerzo, empeño y sacrificio por mantenerme aquí.

A la Corporación DINANT por la donación de materiales y asistencia técnica brindada.

A Zamorano.

## RESUMEN

Rodríguez, J. 2006. Producción y evaluación de biodiesel a partir de aceite de Girasol (*Heliantus annuus*) de desecho del comedor estudiantil de Zamorano. 23p.

Actualmente en el comedor estudiantil de Zamorano se acumulan alrededor de 780 galones/año de aceite de desecho de girasol (*Heliantus annuus*) de óptima calidad (utilizado sólo una vez) que se desperdicia y que es apto para producir biodiesel.

El objetivo de este estudio fue producir biodiesel utilizando el aceite de desecho del comedor. Además se evaluaron diferencias en rendimiento y eficiencia del combustible comparado con biodiesel elaborado con aceite nuevo y con diesel fósil. El diseño experimental del estudio de producción fue un BCA, evaluando dos fuentes de aceite de girasol (nuevo y usado) en dos días de producción. Para el estudio de campo se utilizó un BCA para evaluar el rendimiento de los biodiesel comparándolos con el diesel fósil, siendo cada combustible un tratamiento y los días de prueba cada uno de los bloques. Los resultados se analizaron con un ANDEVA y una separación de medias LSD, con el programa estadístico SAS®. Tanto el biodiesel de aceite usado como el de aceite nuevo cumplieron con los niveles de humedad y ácidos grasos libres máximos permitidos. Ambos biodiesel hicieron funcionar la bomba del sistema de riego de pivote central sin problemas. No se observaron diferencias significativas entre los rendimientos de los biodiesel de aceite nuevo y usado (96% y 95% de conversión respectivamente). Se observaron diferencias significativas en las pruebas de combustión del diesel fósil comparado con los dos tipos de biodiesel. El diesel fósil fue 10.74% más eficiente que el biodiesel producido a partir de aceite nuevo y 11.13% que el producido a partir de aceite usado en la prueba de combustión con la bomba del pivote central. No hubo diferencias significativas entre los dos tipos de biodiesel en la prueba de eficiencia. Se recomienda hacer un estudio de factibilidad sobre la producción de biodiesel en Zamorano.

**Palabras clave:** B100, transesterificación, aceite de girasol, diesel fósil.

## CONTENIDO

Portadilla.....	i
Autoría.....	ii
Página de firmas.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos.....	v
Agradecimiento a patrocinadores.....	vi
Resumen.....	vii
Contenido .....	viii
Índice de cuadros.....	x
Índice de figuras.....	xi
Índice de anexos.....	xii
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>2</b>
2.1 BIODIESEL .....	2
2.2 CALIDAD DE LA MATERIA PRIMA .....	3
2.2.1 Calidad del aceite .....	3
2.2.2 Calidad del metanol .....	4
2.2.3 Calidad del hidróxido de sodio .....	4
2.2.4 Calidad del ácido cítrico .....	4
2.3 SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA .....	4
2.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL BIODIESEL .....	4
2.5 ASPECTO AMBIENTAL .....	5
2.6 CALIDAD DEL PRODUCTO TERMINADO .....	6
2.7 EFICIENCIA DEL BIODIESEL .....	6
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>7</b>
3.1 Localización del estudio.....	7
3.2 MATERIALES, MATERIA PRIMA Y EQUIPO .....	7
3.2.1 Materiales para construcción del reactor .....	7
3.2.2 Materia prima .....	7
3.2.3 Equipo .....	7
3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL .....	8
3.3.1 Rendimientos del biodiesel .....	8
3.3.2 Eficiencia del biodiesel .....	8
3.4 PARTE I: PRODUCCION DE BIODIESEL EN EL TALLER DE METAL-MECANICA DE ZAMORANO .....	8
3.4.1 Selección de materia prima.....	9

3.4.2	Formulación .....	9
3.4.3	Preparación del biodiesel .....	9
3.4.4	Método de fabricación de biodiesel a partir de aceite nuevo de girasol. ....	9
3.4.5	Método de fabricación de biodiesel de aceite usado de girasol. ....	10
3.4.6	Empaque y almacenamiento del producto .....	10
3.4.7	Análisis químicos .....	10
3.5	<b>PARTE II: PRUEBA DE CAMPO DE EFICIENCIA DE COMBUSTION DEL BODIESEL.....</b>	11
3.5.1	Materia prima .....	11
3.5.2	Prueba de combustión del diesel fósil.....	11
3.5.3	Prueba de combustión del biodiesel de aceite de girasol nuevo .....	11
3.5.4	Prueba de combustión del biodiesel de aceite de girasol usado.....	11
3.5.5	Cálculo de rendimientos y eficiencias de los combustibles .....	12
3.6	<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....</b>	12
3.6.1	Rendimientos del biodiesel .....	12
3.6.2	Eficiencia del biodiesel .....	12
4.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	13
4.1	<b>ELABORACIÓN DE BODIESEL DE ACEITE USADO VS. ACEITE NUEVO .....</b>	13
4.1.1	Balance de materia .....	13
4.1.2	Humedad y ácidos grasos libres del biodiesel producido .....	14
4.2	<b>EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN DEL BODIESEL VS. DIESEL FÓSIL.....</b>	14
4.2.1	Eficiencia del combustible en la bomba de riego del pivote central.....	14
4.3	<b>PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS .....</b>	15
4.4	<b>ANÁLISIS DE COSTOS.....</b>	17
4.4.1	Costos de producción de biodiesel de aceite nuevo .....	17
4.4.2	Costos de producción de biodiesel de aceite usado .....	17
4.4.3	Precio del diesel fósil .....	17
5.	<b>CONCLUSIONES.....</b>	18
6.	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	19
7.	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	20
8.	<b>ANEXOS .....</b>	22

## ÍNDICE DE CUADROS

### Cuadro

1	Resultados en el % de pérdida de eficiencia en el estudio de Fajardo, J (2005).....	5
2	Diseño experimental de la prueba de rendimiento del biodiesel de girasol nuevo vs. biodiesel de girasol usado.....	8
3	Diseño experimental de la prueba de combustión y eficiencia del biodiesel de girasol nuevo vs. biodiesel de girasol usado vs diesel fósil.....	8
4	Formulación para la producción de biodiesel de aceite de girasol nuevo y usado.....	9
5	Balance de materia de los dos tratamientos con sus dos repeticiones.....	13
6	Porcentaje de conversión de aceite a metil ésteres .....	13
7	Porcentaje de humedad y de ácidos grasos libres del biodiesel de girasol.....	14
8	Eficiencia de los dos tratamientos de biodiesel en comparación con el diésel fósil .....	14
9	Porcentaje de ácidos grasos saturados de las muestras de aceite de girasol y biodiesel producido. ....	15
10	Porcentaje de ácidos grasos monoinsaturados de las muestras de aceite de girasol y biodiesel producido.....	15
11	Porcentaje de ácidos grasos poliinsaturados de las muestras de aceite de girasol y biodiesel producido .....	15
12	Porcentaje de ácidos grasos trans de las muestras de aceite de girasol y biodiesel producido .....	16
14	Costos de producción de biodiesel de aceite nuevo (en Lempiras). ....	17
15	Costos de producción de biodiesel de aceite usado (en Lempiras).....	17

## INDICE DE FIGURAS

Figura

1	Transesterificación de triglicéridos con alcohol.....	3
2	Reducción de emisiones utilizando Biodiesel 100% vs. Diesel fósil 100%...	5

## INDICE DE ANEXOS

### Anexo

1	Especificaciones de la American Standard of Testing Materials (ASTM) D6751-06.....	23
---	---	----

## 1. INTRODUCCIÓN

La creciente necesidad de energía, la constante alza en los precios de los combustibles derivados del petróleo y la constante preocupación por la contaminación ambiental ha obligado a investigadores y científicos a buscar otras alternativas para el reciclaje de desechos agrícolas y agroindustriales, aprovechando que los desechos representan materias primas de bajo costo y algunos de pueden ser utilizados como energía para combustión.

Actualmente en la Escuela Agrícola Panamericana existe una gran cantidad de desecho de aceite de girasol (*Heliantus annuus*) por parte del comedor estudiantil (alrededor de 780 galones/año), el cuál se desperdicia debido a que no existe en Zamorano ninguna otra alternativa implementada para aprovechar este recurso.

Según Stratta (2000), el ciclo biológico en la producción y uso de biodiesel reduce aproximadamente en 80% las emisiones de anhídrido carbónico, y casi 100% las de dióxido de azufre. La combustión disminuye en 90% la cantidad de hidrocarburos totales no quemados, y entre 75-90% en los hidrocarburos aromáticos. Hay un leve aumento en las emisiones de óxidos nitrosos, pero según el tipo de motor, puede llegar a producir incluso un decremento en este tipo de emisiones.

En el balance final no hay aumento de emisiones de dióxido de carbono, ya que las reducidas emisiones en comparación con el diesel, se compensan con la absorción de CO<sub>2</sub> por parte de los cultivos oleaginosos.

El biodiesel contiene 11% de oxígeno en peso y no tiene azufre, puede extender la vida útil de los motores porque posee mejores cualidades lubricantes que el combustible tradicional, mientras que el consumo, encendido, rendimiento, y torque del motor se mantienen prácticamente en sus valores normales.

El uso de energía limpia renovable cobra día a día más importancia en el mundo debido a las dramáticas situaciones ambientales que se están viviendo como el calentamiento global. Zamorano como una institución líder en materia educativa debe dar el ejemplo en Latinoamérica proponiendo el uso de este tipo de energía.

El objetivo principal de este estudio fue producir biodiesel utilizando el aceite de desecho del comedor. Además se evaluaron diferencias en términos de rendimientos y eficiencia del combustible. Para alcanzar los objetivos del estudio se comparó el biodiesel producido a partir de aceite RBD ya utilizado para fritura con el biodiesel producido con aceite RBD sin usar.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 BIODIESEL

Según Gonzáles (2004), la producción de biodiesel data de principios del siglo XX, cuando Rudolph Diesel utilizaba aceite de maní en sus motores de compresión –ignición; sin embargo el proceso de producción y utilización ha venido fortaleciéndose desde hace veinte años por su aplicación y entrada al mercado Europeo.

El empleo de aceites en su estado original se había abandonado ya que la tecnología empleada en los motores diesel se basa en el uso de carburantes fósiles (diesel); por otro lado, se determinó en 1938 que al emplear el aceite en su estado natural como combustible por un tiempo prolongado en los motores, los sedimentos del material producían problemas de taponamiento.

Durante la segunda guerra mundial, y ante la escasez de combustibles fósiles, se destacó la investigación realizada por Otto y Vivacqua en el Brasil, sobre diesel de origen vegetal; pero sólo hasta la década de los setenta el biodiesel se desarrolló de forma significativa a raíz de la crisis energética que se presentó en ese momento y al elevado costo del petróleo alcanzado como consecuencia de los factores políticos existentes.

Las primeras pruebas técnicas con biodiesel se llevaron a cabo en 1982 en Austria y Alemania, pero solo hasta el año de 1985 en Silberberg (Austria), se construyó la primera planta piloto productora de biodiesel. Hoy en día países como Alemania, Austria, Canadá, Estados Unidos, Francia, Italia, Malasia y Suecia son pioneros en la investigación, producción y uso de biodiesel en automóviles.

Según Pramanik, T y Tripathi, S (2005), Alemania es el líder mundial en producción de biodiesel con 500,000 TM en 2001 con capacidades instaladas hasta de 900,000 TM, Francia produjo alrededor de 310,000 TM en 2001 y en el año 2000 la República Checa y Eslovenia produjeron cerca de 100,000 TM. Malasia está dando en concesión un proyecto para producción de biodiesel con capacidad alrededor de 500,000 TM.

Según la revista Consumer Eroski (2004), en 2002 quedaban en el mundo entre 990,000 millones y 1.1 billones de barriles de crudo por extraer. Esto significa que al ritmo actual de consumo mundial estas reservas se agotarían hacia el año 2043, fecha que podría ser más cercana si el consumo de energía aumentara, como se prevé que ocurra por parte de los países en vías de desarrollo (principalmente China e India).

### 2.1.1 Reacción química

El biodiesel es producido a partir de la transesterificación de ácidos grasos provenientes de aceites vegetales utilizando alcohol y una base como catalizador. Como subproducto se obtiene glicerina la cual también se puede aprovechar.

Según la National Biodiesel Board (2003), la definición técnica de biodiesel es: “Un combustible compuesto de ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga a partir de aceites vegetales o grasas animales, designado como “B100” y que cumple con los requerimientos de la American Society for Testing Materials (ASTM) D 6751”.

Según la National Biodiesel Board (2003), para la elaboración del biodiesel (Fig. 1) se necesita aceite vegetal (comestible o no comestible), alcohol (etanol, metanol, propanol, butanol y emil alcohol) e hidróxido de Sodio (NaOH) o hidróxido de Potasio (KOH) como catalizador de la transesterificación.

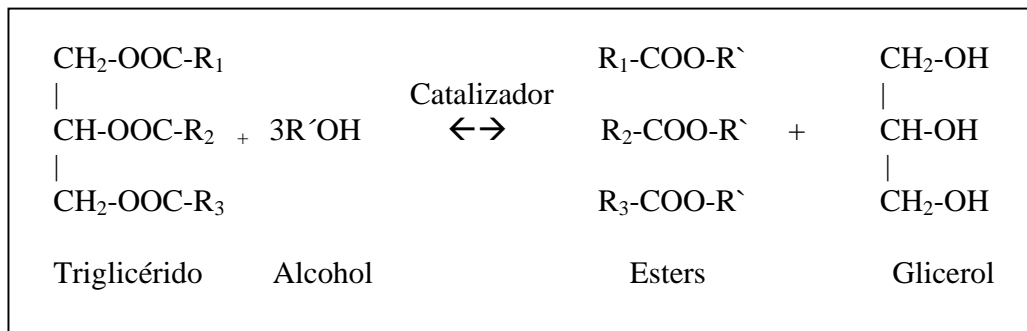


Figura 1. Transesterificación de triglicéridos con alcohol.

Según Van Gerpen (2004) el producto de la reacción es una mezcla de metilésteres, mayormente conocidos como biodiesel, y glicerol que en una escala grande de producción es un subproducto de alto valor. También hay presentes residuos de jabón producto de la reacción entre ácidos grasos libres (AGL) presentes en el aceite con el hidróxido de sodio, los cuales luego van a ser eliminados del producto final a través del lavado del biodiesel.

## 2.2 CALIDAD DE LA MATERIA PRIMA

### 2.2.1 Calidad del aceite

Según Wright (1944) los triglicéridos deben tener menos de 1% de AGL y todas las demás sustancias a reaccionar deben ser lo más anhidras posible. Si la acidez es mayor a 1% entonces se necesita más catalizador (NaOH) para la reacción debido a que tiene que neutralizar los AGL. El contenido de humedad debe ser menor a 0.05% ya que puede provocar saponificación lo cual aumenta la viscosidad y puede formar geles haciendo la separación del glicerol más difícil.

### **2.2.2 Calidad del metanol**

Según Riera (2006)<sup>1</sup>, para que se lleve a cabo completamente la reacción el metanol debe de tener una pureza mayor o igual a 99.90%.

### **2.2.3 Calidad del hidróxido de sodio**

Según Riera (2006)<sup>1</sup> el hidróxido de sodio (NaOH) debe ser de grado reactivo (pureza mayor o igual a 97%) y debe almacenarse en un lugar seco debido a su alta higroscopicidad.

### **2.2.4 Calidad del ácido cítrico**

Según Riera (2006)<sup>1</sup> el ácido cítrico debe de tener una pureza mínima del 99% y debe de mantenerse en un lugar seco.

## **2.3 SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA**

Para la realización de este estudio se utilizó metanol con 99.9% de pureza donado por corporación DINANT. Se utilizó hidróxido de sodio grado ACS reactivo con 97% de pureza ya que cumplía con las especificaciones mínimas necesarias y era lo más económico disponible.

## **2.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL BIODIESEL**

Según López (2006), dentro de las principales ventajas del biodiesel podemos citar:

- Mínimas diferencias en torque, potencia y consumo de los motores con respecto al diesel fósil.
- Mayor punto de ignición (reduce peligro de explosiones por emanación de gases durante almacenamiento).
- Índice de cetano promedio de 55.
- Mayor lubricidad (favorece el funcionamiento del circuito de alimentación y la bomba de inyección).
- No se requieren mayores modificaciones en los motores diesel convencionales para su uso (modelos posteriores a 1992), obteniéndose similares rendimientos.
- Su utilización sustitutiva no demanda modificaciones en la infraestructura de distribución y venta de combustibles líquidos ya instalada.
- Transporte y almacenamiento más seguro dado el alto punto de ignición del biodiesel.

Dentro de las desventajas podemos citar:

- Alta dependencia del costo de las materias primas.
- Generación de un coproducto (glicerina) cuya purificación a grado técnico sólo es viable para grandes volúmenes.

---

<sup>1</sup> Riera, O (2006). Demostración de planta piloto en Corporación DINANT. Entrevista. Tocoa, Colón, Honduras.

- Problemas de fluidez a bajas temperaturas (menores a 0° C).
- Escasa estabilidad oxidativa (vida útil, período máximo de almacenamiento menor a seis meses).
- Poder solvente: Incompatible con una serie de plásticos y derivados del caucho natural (eventual sustitución de algunos componentes del motor: mangueras, juntas, sellos, diafragmas, partes de filtros y similares).
- Cuando es cargado en tanques sucios por depósitos provenientes del diesel fósil, al “limpiar” dichos depósitos por disolución parcial, puede terminar obstruyendo las líneas del combustible (problema que normalmente se presenta sólo una vez).

## 2.5 ASPECTO AMBIENTAL

Según López (2006), el uso de biodiesel reduce las emisiones de contaminantes hacia el medio ambiente (Fig. 2), el único contaminante que aumenta al utilizarse biodiesel es el Óxido Nitroso (NOx), pero este puede ser reducido a cantidades irrelevantes con un pequeño ajuste en los tiempos de inyección del motor.

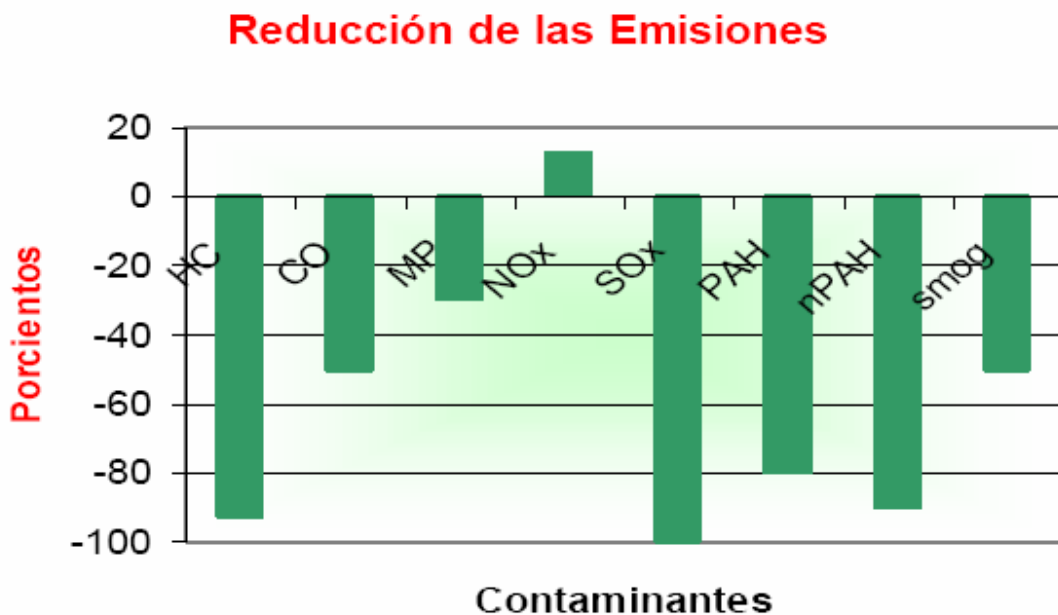


Figura 2. Reducción de emisiones utilizando Biodiesel 100% vs. Diesel fósil 100%.

## 2.6 CALIDAD DEL PRODUCTO TERMINADO

Según Van Gerpen (2004), los principales factores post-producción más importantes son el agua y los sedimentos. A pesar que el biodiesel es insoluble en agua, retiene considerablemente más agua que el diesel fósil. Es capaz de retener 1500 ppm de agua disuelta mientras que el diesel fósil retiene tan solo 50 ppm.

Los estándares del diesel fósil, ASTM D 975 y del biodiesel ASTM D 6751 (Anexo 1) establecen el límite de agua disuelta en 500 ppm como máximo.

El sedimento generalmente está compuesto por partículas de suciedad o puede ser originado en el combustible como compuestos insolubles originados en el proceso de oxidación.

Según Van Gerpen (2004), la medición de la calidad del biodiesel es en la mayoría de los casos limitada a medir la acidez y el contenido de agua a un costo razonable con equipo de laboratorio no muy sofisticado, aunque para obtener un análisis completo de la calidad del combustible se necesita un cromatógrafo de gases debidamente calibrado.

## 2.7 EFICIENCIA DEL BIODIESEL

Según Fajardo, J (2005) La potencia disminuye cuando se utiliza Biodiesel como combustible o se aumenta su porcentaje en la mezcla. Esto se debe al menor poder calorífico del biocombustible con respecto al del diesel convencional.

El consumo de combustible aumenta para el biodiesel y sus mezclas entre 14% y 20% para B20 (20% de biodiesel y 80% de diesel fósil) y B50 (50% de biodiesel y 50% de diesel fósil) respectivamente, este aspecto también está relacionado con el menor poder calorífico del biocombustible.

Cuadro 1. Resultados en el % de pérdida de eficiencia en el estudio de Fajardo, J (2005).

Tipo de combustible	% pérdida de potencia
B100	5.58
B20	1.52
B50	2.35

El Cuadro 1 indica que en el estudio realizado por Fajardo, J. (2005) se obtuvo un 5.58% de pérdida de potencia en un motor.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 LOCALIZACIÓN DEL ESTUDIO

El estudio se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Análisis de Alimentos (LAA), en conjunto con el taller de maquinaria y la bomba del sistema de riego de pivote central de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Valle del Yeguaré, departamento de Francisco Morazán, Honduras.

#### 3.2 MATERIALES, MATERIA PRIMA Y EQUIPO

##### 3.2.1 Materiales para construcción del reactor

- Toneles de 50 galones
- Resistencia eléctrica de 220 V
- Bomba de 1" de agua
- Manguera de 1"
- Válvulas de balón

El reactor que fue construido para la realización del estudio es una versión adaptada del "Journey to Forever 90-litre processor", Addison, K (2004).

##### 3.2.2 Materia prima

- Aceite refinado, blanqueado y desodorizado (RBD) de girasol nuevo
- Aceite RBD de girasol usado.
- Metanol 99.98% de pureza
- Hidróxido de sodio, 97% de pureza (Hojuelas, grado reactivo) Sigma Aldrich
- Ácido cítrico 99.5% de pureza (Granulado, grado ACS reactivo) Sigma Aldrich
- Agua

##### 3.2.3 Equipo

- Reactor
- Bomba de riego Berkeley<sup>®</sup> Modelo B3JQBM
- Balanza analítica Metler<sup>®</sup> Modelo AE 200
- Horno al vacío Napco<sup>®</sup> Modelo 5831
- Cromatógrafo de gases Agilent<sup>®</sup> Modelo 6890

- Termómetro
- Crisoles Kymax<sup>®</sup> de 600 ml
- Probeta graduada Nalgene<sup>®</sup> de 4000 cm<sup>3</sup>

### 3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

#### 3.3.1 Rendimientos del biodiesel

Cuadro 2. Diseño experimental de la prueba de rendimiento del biodiesel de girasol nuevo vs. biodiesel de girasol usado.

Tratamiento	Bloque 1	Bloque 2
Aceite nuevo	D1	D2
Aceite usado	D1	D2

D1, D2: días de fabricación del biodiesel (muestras)

#### 3.3.2 Eficiencia del biodiesel

El experimento fue repetido dos veces siendo cada repetición tomada como un bloque y los datos generados en las evaluaciones en los días uno y dos de producción (Cuadro2) se evaluaron estadísticamente mediante un diseño de Bloques Completos al Azar (BCA), donde cada día de producción constituyó un bloque. Se evaluaron dos muestras (A y B) por tratamiento y repetición, teniendo un total de cuatro unidades experimentales.

Cuadro 3. Diseño experimental de la prueba de combustión y eficiencia del biodiesel de girasol nuevo vs. biodiesel de girasol usado vs diesel fósil.

Tratamiento	Día 1	Día 2	Día 3
Diesel fósil			R1 R2 R3
Biodiesel de aceite nuevo	R1 R2 R3	R1 R2 R3	
Biodiesel de aceite usado	R1 R2 R3	R1 R2 R3	

R1 R2 R3: Muestras de 5 galones de combustible.

### 3.4 PARTE I: PRODUCCION DE BIODIESEL EN EL TALLER DE METAL-MECANICA DE LA ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA, UNIVERSIDAD ZAMORANO

Se produjo biodiesel a partir de aceite de girasol (*Heliantus annuus*), utilizando tanto aceite refinado, blanqueado y desodorizado (RBD) nuevo como aceite de residuo de frituras de pollo y papas proveniente del comedor estudiantil Doris Zemurray. Siendo cada uno de estos los dos distintos tratamientos del estudio.

La humedad (%) y acidez titulable (%AGL) fueron evaluadas en ambos aceites para obtener un parámetro de comparación en rendimiento del combustible ya que como se

mencionó en la revisión de literatura ambos parámetros de la materia prima afectan directamente en los rendimientos finales del biodiesel.

Los tratamientos de biodiesel ya producidos fueron evaluados en términos de fue la humedad, acidez titulable y perfil de ácidos grasos para observar si el combustible cumplía con los requerimientos para funcionar adecuadamente.

### 3.4.1 Selección de materia prima

El aceite RBD de girasol nuevo provino de Guatemala (marca Ideal) y se obtuvo por medio de la bodega de materiales de la EAP. El aceite usado se obtuvo del comedor estudiantil Doris Zemurray. A ambos aceites se les midió el contenido de ácidos grasos libres (AGL) y la humedad. El metanol que se obtuvo tenía 99.98% de pureza y fue donado por corporación DINANT. El hidróxido de Sodio con 97% de pureza (Hojuelas, grado reactivo) Sigma Aldrich. El ácido cítrico con 99.5% de pureza (Granulado, grado ACS reactivo) Sigma Aldrich. El agua es proveniente del uyuca. Toda la materia prima se almacena a temperatura ambiente.

### 3.4.2 Formulación

La formulación de biodiesel utilizada en la planta piloto recién donada a Zamorano de la corporación DINANT fue adaptada para generar la formulación utilizada en el estudio. Esta se modificó para reemplazar el aceite RBD de palma por aceite RBD de girasol, tanto nuevo como usado. Los materiales utilizados para cada uno de los tratamientos se muestran en el Cuadro 4.

### 3.4.3 Preparación del biodiesel

Se prepararon y pesaron todos los ingredientes necesarios para cada uno de los tratamientos (Cuadro 4).

Cuadro 4. Formulación para la producción de biodiesel de aceite de girasol nuevo y usado.

<b>Ingredientes</b>	<b>Biodiesel de aceite nuevo (kg)</b>	<b>Biodiesel de aceite usado (Kg)</b>
Aceite RBD de girasol nuevo	49.22	0.00
Aceite RBD de girasol usado	0.00	49.22
Metanol (99.98%)	8.20	8.20
NaOH (99.99%)	0.35	0.35
Acido Cítrico (99.99%)	0.05	0.05

### 3.4.4 Método de fabricación de biodiesel a partir de aceite nuevo de girasol.

1. Preparación de metóxido de sodio mezclando metanol con hidróxido de Sodio.
2. Preparación de las dos soluciones de ácido cítrico (0.05% y 0.025% respectivamente) en agua para el lavado del biodiesel.
3. Se adiciona el aceite RBD de girasol nuevo en el reactor.

4. Se pone a recircular el aceite y se calienta a 55° C.
5. Se adiciona el metóxido de sodio y se deja recirculando 1 hora, periodo durante el cual se lleva a cabo completamente la reacción química (transesterificación).
6. Se deja reposar durante 45 minutos para que se separen las dos fases (glicerina y metiléster) por diferencias de densidad.
7. Decantado de la glicerina.
8. Se adiciona la solución de ácido cítrico en agua al 0.05% para el primer lavado del biodiesel (se mantiene la recirculación hasta que se termina de adicionar la solución).
9. Se esperan 45 minutos hasta que se separen completamente las dos fases.
10. Se decanta el agua del primer lavado (contiene residuos de jabón y glicerina).
11. Se adiciona la solución de ácido cítrico en agua al 0.025% para el segundo lavado del biodiesel (se mantiene la recirculación hasta que se termina de adicionar la solución).
12. Se esperan 45 minutos hasta que se separen completamente las dos fases.
13. Se decanta el agua del segundo lavado (contiene últimos residuos de jabón y glicerina).
14. Se procede a secar el biodiesel (115° C, hasta alcanzar una humedad menor a 0.05%).

#### **3.4.5 Método de fabricación de biodiesel de aceite usado de girasol.**

1. Se filtra el aceite RBD de girasol usado proveniente del comedor.
2. Calentado del aceite recién filtrado hasta una temperatura de 65°C, manteniéndose la temperatura durante 15 minutos.
3. Reposado del aceite durante 12 horas.
4. Envasado del aceite tratado dejando la pequeña fase de agua en el fondo (si hubiese).
5. Con el aceite usado luego del tratamiento mencionado antes se siguen los pasos del método de fabricación de biodiesel de aceite nuevo.

#### **3.4.6 Empaque y almacenamiento del producto**

Cada tratamiento se empacó por separado en tambos de HDPE debidamente identificados para luego ser almacenados a temperatura ambiente.

#### **3.4.7 Análisis químicos**

Muestras por duplicado de cada tratamiento fueron analizadas para humedad, acidez titulable (AGL) e índice de cetano según los métodos declarados por la AOAC (2005) y la AOCS (1997).

- Humedad, método Ca 2b-30 AOCS (1997).
- AGL, método Ca 5a-40 de la AOCS (1997).
- Perfil de ácidos grasos en cromatografía gaseosa.

### **3.5 PARTE II: PRUEBA DE CAMPO DE EFICIENCIA DE COMBUSTION DEL BIODIESEL**

Para esta parte del estudio se evaluaron tres distintos tipos de combustible: a) Diesel proveniente de destilados fósiles, b) Biodiesel producido a partir de aceite RBD de girasol nuevo, c) Biodiesel producido a partir de aceite RBD de girasol usado. Los análisis se realizaron para determinar los cambios en las características de combustión y eficiencia del combustible de acuerdo a la fuente del mismo, midiéndole mediante el consumo de combustible la eficiencia en galones por hora de riego.

El brazo del pivote central de Zamorano tiene 400 metros de radio, lo que representa alrededor de 50 ha de terreno bajo el sistema de riego. La bomba que abastece el sistema de riego es marca Berkeley (Modelo B3JQBM) con 13.5 in de diámetro de Impeler. El motor que opera esta bomba es marca Deutz (modelo F3L913) de 3 cilindros y 3.064 litros, utiliza como combustible diesel. La bomba operó regando 1.5 in de lámina de agua, a 220 Kpa de presión y 1800 RPM.

#### **3.5.1 Materia prima**

El diesel fósil fue obtenido en el puesto de gasolina ubicado en la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano y tanto el biodiesel de aceite RBD de girasol nuevo como usado fueron producidos en el reactor construido en el taller de metal-mecánica de la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano.

#### **3.5.2 Prueba de combustión del diesel fósil**

1. Drenado completo del tanque de combustible de la bomba de riego del pivote central.
2. Agregado del combustible (Diesel fósil, 5 galones)
3. Riego a 1.5 in de lámina de agua y 2.2 Kpa de presión y 1800 RPM.
4. Drenado y medido del volumen restante del combustible.

#### **3.5.3 Prueba de combustión del biodiesel de aceite de girasol nuevo**

1. Agregado del combustible (Biodiesel de aceite RBD de girasol nuevo, 5 galones)
2. Riego a 1.5 in de lámina de agua y 2.2 Kpa de presión y 1800 RPM.
3. Drenado y medido del volumen restante del combustible.

#### **3.5.4 Prueba de combustión del biodiesel de aceite de girasol usado**

1. Agregado del combustible (Biodiesel de aceite RBD de girasol usado, 5 galones)
2. Riego a 1.5 in de lámina de agua y 2.2 Kpa de presión y 1800 RPM.
3. Drenado y medido del volumen restante del combustible.

### **3.5.5 Cálculo de rendimientos y eficiencias de los combustibles**

Por medio de aritmética simple se calcularon los rendimientos de cada combustible proveniente de cada tratamiento del estudio. Los resultados de los cálculos de rendimientos se determinaron con un balance de materia con respecto al aceite y metóxido de sodio usado y la cantidad de metil ésteres producidos. Los cálculos de rendimientos de los dos tratamientos de biodiesel producidos se determinaron en galones de combustible por hora de riego (hrs/gal) y los resultados se reportan como resultado de medias de 6 repeticiones de cada biodiesel producido y 3 repeticiones para el control (diesel fósil).

## **3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

### **3.6.1 Rendimientos del biodiesel**

Este análisis se realizó con la ayuda del programa SAS® en el laboratorio de cómputo de la Escuela Agrícola Panamericana. Se utilizó una separación de medias LSD para comparar los resultados del efecto de la fuente del aceite sobre las características evaluadas del biodiesel.

### **3.6.2 Eficiencia del biodiesel**

El experimento fue repetido dos veces, siendo cada repetición tomada como un bloque y los datos generados a través de cada combustible probado se evaluaron estadísticamente mediante un diseño de Bloques Completos al Azar (BCA), donde cada repetición constituyó un bloque y cada uno de las fuentes del combustible un tratamiento. Se evaluaron rendimientos por tratamiento y repetición, teniendo un total de 8 unidades experimentales. Este análisis se realizó con la ayuda del programa SAS® en el laboratorio de cómputo de la Escuela Agrícola Panamericana. Una separación de medias Duncan se utilizó para comparar los resultados del efecto de la fuente del combustible sobre las características de eficiencia y potencia de los combustibles.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 ELABORACIÓN DE BIODIESEL DE ACEITE NUEVO VS. ACEITE USADO

#### 4.1.1 Balance de materia

En el Cuadro 6 podemos evaluar que hubo 0.87 Kg de pérdidas de material en el proceso de conversión de aceite nuevo y 1.44 Kg en aceite usado, en su mayoría debido a la toma de muestras durante el proceso y lo demás puede atribuirse a residuos de material en el reactor y/o las tuberías. También se observó un aumento en la interfase del biodiesel proveniente de aceite de girasol usado y se puede atribuir a más formación de jabón debido a la mayor cantidad de AGL inicial del aceite que dificultó la separación de la glicerina y los metil ésteres.

Cuadro 5. Balance de materia de los dos tratamientos con sus dos repeticiones.

	<b>Aceite (Kg)</b>	<b>Metóxido de sodio (Kg)</b>	<b>Total (Kg)</b>
<b>Biodiesel girasol nuevo</b>	60.94	8.2	<b>69.14</b>
<b>Biodiesel girasol usado</b>	60.94	8.2	<b>69.14</b>

Igual a:

	<b>Metil ésteres (Kg)</b>	<b>Interfase (Kg)</b>	<b>Glicerina (Kg)</b>	<b>Total (Kg)</b>
<b>Biodiesel girasol nuevo</b>	58.49	2.73	7.06	<b>68.27</b>
<b>Biodiesel girasol usado</b>	57.74	3.46	6.50	<b>67.70</b>

Cuadro 6. Porcentaje de conversión de aceite a metil ésteres.

	<b>Aceite (Kg)</b>	<b>Metil ésteres</b>	<b>Porcentaje de conversión</b>
<b>Biodiesel girasol nuevo</b>	60.94	58.49	<b>95.97 A</b>
<b>Biodiesel girasol usado</b>	60.94	57.74	<b>94.74 A</b>

\* Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas (Pr<0.05%).

El biodiesel producido con aceite de girasol nuevo y usado presentaron un 95.97% y 94.75% de conversión respectivamente, lo cual concuerda con Freedman et al. (1984) que utilizando condiciones similares obtuvo entre 93 y 98% (Cuadro 7).

#### 4.1.2 Humedad y ácidos grasos libres del biodiesel producido

Cuadro 7. Porcentaje de humedad y de ácidos grasos libres del biodiesel de girasol

	% de humedad	% de ácidos grasos libres
<b>Biodiesel de aceite nuevo</b>	0.05	0.13
<b>Biodiesel de aceite usado</b>	0.05	0.15

Según la norma ASTM D6751-6 (2006), el porcentaje máximo de humedad en el biodiesel terminado debe ser  $< 0.05\%$ . El biodiesel producido con aceite de girasol nuevo presentó un  $0.0045\%$  por encima del nivel máximo permitido (Cuadro 8), lo cual se puede atribuir a las condiciones rústicas bajo las que se elaboró el biodiesel (Cuadro 5). Ambos tratamientos cumplieron con el mínimo porcentaje permitido de ácidos grasos libres ( $< 0.5\%$ ).

#### 4.2 EFICIENCIA DE COMBUSTIÓN DEL BIODIESEL VS. DIESEL FÓSIL

La bomba del pivote central operó sin problemas durante las pruebas de combustión realizadas con biodiesel elaborado con aceite de girasol nuevo y usado.

##### 4.2.1 Eficiencia del combustible en la bomba de riego del pivote central.

Cuadro 8. Eficiencia de los dos tratamientos de biodiesel en comparación con el diésel fósil

Tratamiento	Horas de riego (promedio)	Eficiencia (hrs/gal)
<b>Diesel fósil</b>	5.33 <b>A</b>	1.07 <b>A</b>
<b>Biodiesel girasol nuevo</b>	4.76 <b>B</b>	0.95 <b>B</b>
<b>Biodiesel girasol usado</b>	4.74 <b>B</b>	0.95 <b>B</b>

\* Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas ( $Pr < 0.05\%$ ).

El diesel fósil fue un combustible significativamente más eficiente (horas de trabajo por galón) que los biodiesel producidos con aceite de girasol nuevo y usado (Cuadro 6). Fue  $11.45\%$  más eficiente que el biodiesel de aceite nuevo y  $11.87\%$  más eficiente que el biodiesel de aceite usado (Cuadro 9), lo cual no concuerda con el estudio realizado por Fajardo, J. quien obtuvo tan sólo  $5.87\%$  de pérdidas en eficiencia utilizando  $100\%$  biodiesel vs. diesel fósil, lo que se puede atribuir a que el biodiesel utilizado en el estudio antes mencionado provenga de otra fuente de aceite vegetal. No se observaron diferencias significativas en eficiencia entre el biodiesel elaborado con aceite nuevo vs. el elaborado con aceite usado, se obtuvo una diferencia de apenas  $0.857\%$  menos en rendimientos.

### 4.3 PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS

Cuadro 9. Perfil de ácidos grasos saturados de las muestras de biodiesel y aceite de girasol

Análisis	% en Aceite girasol	% en Biodiesel aceite nuevo	%Biodiesel aceite usado
<b>TOTAL GRASA SATURADA</b>	12.04	14.66	15.59
ACIDO BUTIRICO	0.00	0.00	0.00
ACIDO CAPROICO	0.03	0.01	0.00
ACIDO CAPRILICO	0.03	0.04	0.05
ACIDO CAPRICO	0.00	0.00	0.01
ACIDO UNDECANOICO	0.00	0.00	0.00
ACIDO LAURICO	0.00	0.00	0.02
ACIDO TRIDECANOICO	0.00	0.04	0.04
ACIDO MIRISTICO	0.07	0.09	0.22
ACIDO PENTADECANOICO	0.00	0.02	0.03
ACIDO PALMITICO	7.82	10.29	10.79
ACIDO MARGÁRICO	0.07	0.08	0.08
ACIDO ESTEÁRICO	4.01	4.06	4.31
ACIDO ARAQUIDONICO	0.00	0.00	0.00
ACIDO HENEICOSANOICO	0.00	0.02	0.03
ACIDO BEHÉNICO	0.00	0.00	0.02
ACIDO TRICOSANOICO	0.00	0.00	0.00
ACIDO TRICOSANOICO	0.00	0.03	0.00

En el Cuadro 10 podemos observar que los ácidos grasos saturados de las tres fuentes provienen principalmente del ácido palmítico y esteárico. Se observó 12.04% de ácidos grasos saturados para el aceite de girasol, 14.66% para el biodiesel de aceite nuevo y 15.59% para el biodiesel de aceite usado. Los valores fueron superiores a los resultados que obtuvo Ordóñez, A (2005), quien obtuvo 11% de ácidos grasos saturados en aceite de girasol. Se observó un aumento en el porcentaje de ácido palmítico.

Cuadro 10. Perfil de ácidos grasos monoinsaturados de las muestras de biodiesel y aceite de girasol

Análisis	% en Aceite girasol	% en Biodiesel aceite nuevo	%Biodiesel aceite usado
<b>TOTAL GRASA MONOINSATURADA</b>	23.08	21.71	26.96
ACIDO LAUROLEICO	0.00	0.00	0.00
ACIDO MIRISTOLEICO	0.00	0.00	0.22
ACIDO PENTADECANOICO	0.00	0.00	0.00
ACIDO PALMITOLEICO	0.08	0.08	0.76
ACIDO HEPTADECANOICO	0.07	0.00	0.08
11 C VACÉNICO	0.00	0.00	0.96
ACIDO OLEICO	22.53	21.32	24.76
ACIDO EICOSANOICO	0.30	0.30	0.00
ACIDO ERUCICO	0.00	0.00	0.00
ACIDO SELACOLEICO	0.00	0.00	0.00

Se observó 23.08% de ácidos grasos saturados para el aceite de girasol, 21.71% para el biodiesel de aceite nuevo y 26.96% para el biodiesel de aceite usado (Cuadro 11). Los valores fueron superiores a los resultados que obtuvo Ordóñez, A (2005), quien obtuvo 20% de ácidos grasos monoinsaturados en aceite de girasol. Se observó una disminución en el porcentaje de ácido oleico para biodiesel de aceite nuevo y un aumento en el biodiesel de aceite usado.

Cuadro 11. Perfil de ácidos grasos poliinsaturados de las muestras de biodiesel y aceite de girasol

Análisis	% en Aceite girasol	% en Biodiesel aceite nuevo	%Biodiesel aceite usado
<b>TOTAL GRASA POLIINSATURADA</b>	64.88	63.63	57.45
ÁCIDO LINOLEICO	61.38	59.64	54.27
ÁCIDO LINOLENICO	1.41	1.68	1.39
8,14,17 ÁCIDO EICOSATRIOENICO	0.00	0.00	0.00
11,14,17 ÁCIDO EICOSATRIOENICO	0.00	0.00	0.51
ÁCIDO EICOSADIENOICO	0.00	0.02	0.02
ÁCIDO ARAQUIDONICO	0.60	0.58	0.00
ÁCIDO EICOSAPENTANOICO	0.00	0.00	0.00
ÁCIDO DECOSAHEXANOICO	0.00	0.00	0.00

En el Cuadro 12 podemos observar que los ácidos grasos saturados de las tres fuentes provienen principalmente del ácido linoleico. Se observó 64.88% de ácidos grasos saturados para el aceite de girasol, 63.63% para el biodiesel de aceite nuevo y 57.45% para el biodiesel de aceite usado. Los valores fueron inferiores a los resultados que obtuvo Ordóñez, A (2005), quien obtuvo 69% de ácidos grasos poliinsaturados en aceite de girasol.

Cuadro 13. Perfil de ácidos grasos trans de las muestras de biodiesel y aceite de girasol

Análisis	% en Aceite girasol	% en Biodiesel aceite nuevo	%Biodiesel aceite usado
<b>TOTAL GRASA TRANS</b>	1.58	1.72	1.45
ÁCIDO ELAIDICO	0.10	0.01	0.18
ÁCIDO TRANSVACENICO	0.00	0.00	0.00
ÁCIDO LINOLEICO	0.89	1.06	0.82
ÁCIDO LINOLÉNICO	0.60	0.65	0.44

El porcentaje de ácidos grasos trans fue similar en aceite de girasol, biodiesel de aceite nuevo y biodiesel de aceite usado (Cuadro 13).

## 4.4 ANÁLISIS DE COSTOS

### 4.4.1 Costos de producción de biodiesel de aceite nuevo

Cuadro 14. Costos de producción de biodiesel de aceite nuevo (en Lempiras)

	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Costo/tanda	Costo/gal
Aceite girasol nuevo	Kg	49.875	27	1346.63	65.56
Metanol	Kg	8.24	19.1	157.38	9.94
Hidróxido de sodio	Kg	0.345	260.3	89.80	5.67
Acido cítrico	Kg	0.046	1212.2	55.76	3.52
Mano de obra	Hrs de trabajo	8	70	560.00	35.36
Energía eléctrica	Kwatt/hora	5	0.2	1.00	0.06
<b>TOTAL</b>				<b>2210.57</b>	<b>120.11</b>

El costo de producción del biodiesel de aceite nuevo fue bastante alto (Lps. 120.11, alrededor de US\$ 6.32 por galón), la razón de este costo tan alto es que se utilizó aceite de girasol nuevo, el cual es importado a Honduras desde Guatemala. Comparado con el diesel fósil el biodiesel de aceite de girasol nuevo es 2.23 veces más caro (Cuadro 14).

### 4.4.2 Costos de producción de biodiesel de aceite usado

Cuadro 15. Costos de producción de biodiesel de aceite usado (en Lempiras).

	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Costo/tanda	Costo/gal
Aceite girasol usado	Kg	49.88	4.00	199.50	9.71
Metanol	Kg	8.24	19.10	157.38	7.66
Hidróxido de sodio	Kg	0.35	260.30	89.80	4.37
Acido cítrico	Kg	0.05	1212.20	55.76	2.71
Mano de obra	Hrs de trabajo	8.00	70.00	560.00	27.26
Energía eléctrica	Kwatt/hora	5.00	0.20	1.00	0.05
<b>TOTAL</b>				<b>1063.45</b>	<b>51.77</b>

En el Cuadro 15 podemos evaluar que el costo de producción de un galón de biodiesel de aceite usado para Zamorano es Lps. 2.19 más barato que el diesel fósil, aunque podrían reducirse aún más si en lugar de trabajadores son estudiantes los que fabrican el biodiesel como un módulo de trabajo.

### 4.4.3 Precio del diesel fósil

El valor del diesel fósil convencional para Honduras al 1 de Octubre de 2006 era de US\$ 2.84 (Lps. 53.96) con una tasa de cambio de 19Lps x 1 US\$ (Bolsa valor, 2006).

## **5. CONCLUSIONES**

Se produjo biodiesel con niveles aceptables de humedad y ácidos grasos libres a partir de aceite nuevo y usado de girasol.

Los biodiesel producidos con aceite de girasol nuevo y usado hicieron combustión normalmente en la bomba de riego.

Se obtuvieron rendimientos de 95.97% y 94.75% de conversión en la producción de biodiesel de aceite nuevo y usado respectivamente.

Los rendimientos que se obtuvieron fueron óptimos para las condiciones bajo las que fue realizado el estudio.

El diesel fósil fue más eficiente que el biodiesel de girasol nuevo y usado en la prueba de combustión con la bomba de riego.

El biodiesel de aceite de girasol usado fue igual de eficiente que el de aceite nuevo en la prueba de combustión con la bomba del sistema de riego.

## **6. RECOMENDACIONES**

Realizar un estudio de factibilidad para la producción de biodiesel en Zamorano.

Asignar un presupuesto mayor para estudios que tienen relevancia para la Escuela Agrícola Panamericana.

Realizar un estudio sobre la vida de anaquel del biodiesel.

Realizar un estudio sobre otras características físico-químicas del biodiesel.

Realizar un estudio utilizando mezclas entre aceite nuevo y usado para producir biodiesel.

Instalar adecuadamente la planta piloto de biodiesel donada por Corporación DINANT para la Escuela Agrícola Panamericana.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Addison, K. (2004). Journey to Forever 90-litre processor. (en línea). Consultado el 20 de noviembre de 2005. Disponible en: [http://journeytoforever.org/biodiesel\\_processor10.html](http://journeytoforever.org/biodiesel_processor10.html)

Bolsa valor (2005). Bajan precios de gasolina y diesel en Honduras. (en línea). Consultado el 26 de noviembre de 2006. Disponible en: [http://www.bolsavalor.es/Bajan\\_precios\\_de\\_gasolina\\_y\\_diesel\\_en\\_Honduras\\_7176.html](http://www.bolsavalor.es/Bajan_precios_de_gasolina_y_diesel_en_Honduras_7176.html)

Fajardo, J., Meza, J., Abuchar, A., Julio, F., Díaz, A., Navas, O., 2005. Estudio del desempeño mecánico y ambiental de los motores de encendido por compresión al utilizar biodiesel como combustible. (en línea). Consultado el 25 de noviembre de 2006. Disponible en: <http://www.aciem.org/bancoconocimiento/E/Estudiodeldesempennomecanicoyambientalext/Paper%20Biodiesel.doc>

Freedman, B., Pryde, E.H. Mounts, T.L., 1984. Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils. *JAOCS* 61, 1638-1643.

González, C. (2004). Análisis comparado sobre la evolución del consumo de combustible biodiesel a nivel mundial. (en línea). Consultado el 26 de noviembre de 2005. Disponible en: [http://abc.senado.gov.co/prontus\\_senado/site/artic/20050716/asocfile/038\\_ANALISIS\\_COMPARADO\\_SOBRE\\_%20EVOLUCION\\_DEL\\_CONSUMO\\_DIESEL.pdf](http://abc.senado.gov.co/prontus_senado/site/artic/20050716/asocfile/038_ANALISIS_COMPARADO_SOBRE_%20EVOLUCION_DEL_CONSUMO_DIESEL.pdf)

López, G. (2006). BIODIESEL: innovación y transferencia de tecnología. (en línea). Consultado el 28 de octubre de 2006. Disponible en: [www.cytel.org/.../PonenciasExpuestas/Sesion%202.3/2.3%20Gerardo%20Lopez%20\(Argentina\).pdf](http://www.cytel.org/.../PonenciasExpuestas/Sesion%202.3/2.3%20Gerardo%20Lopez%20(Argentina).pdf)

National Biodiesel Board. (2003). Biodiesel production. (en línea). Consultado el 12 de noviembre de 2005. Disponible en: [http://www.biodiesel.org/pdf\\_files/fuelfactsheets/Production.PDF](http://www.biodiesel.org/pdf_files/fuelfactsheets/Production.PDF)

National Biodiesel Board. (2003). What is Biodiesel?. (en línea). Consultado el 17 de noviembre de 2005. Disponible en: <http://www.biodiesel.org/resources/definitions/>

Ordóñez, O. (2005). Aspectos nutricionales de la semilla y el aceite de girasol. (en línea). Consultado el 20 de noviembre de 2006. Disponible en: <http://www.asagir.org.ar/pdf/4-Calidad%20y%20Usos.pdf>

Pramanik, T y Tripathi, S. (2005). Biodiesel: clean fuel of the future. *Hydrocarbon Processing*. 49-54 p.

Revista Consumer Eroski. (2004). ¿Cuánto petróleo queda en el mundo? (en línea). Consultado el 26 de noviembre de 2005. Disponible en: <http://revista.consumer.es/web/es/20040101/medioambiente/>

Stratta, J. (2000). BIOCOMBUSTIBLES: los aceites vegetales como constituyentes principales del biodiesel. (en línea). Consultado el 27 de noviembre de 2005. Disponible en: <http://www.bcr.com.ar/pagcentrales/publicaciones/images/pdf/BIOCOMBUSTIBLES.PDF>

Van Gerpen, J (2004). Biodiesel production and fuel quality. University of Idaho. 12 p.

Volsa Valor (2006). Bajan precios de gasolina y diesel en Honduras. (en línea). Consultado el 20 de noviembre de 2006. Disponible en: [http://www.bolsavalor.es/Bajan\\_precios\\_de\\_gasolina\\_y\\_diesel\\_en\\_Honduras\\_7176.html](http://www.bolsavalor.es/Bajan_precios_de_gasolina_y_diesel_en_Honduras_7176.html)

Wright, H. Segur, J. Clark, H. Coburn, S. Langdon, E. DuPuis, R. 1944. A report on ester interchange. Oil and soap 21, 145-148 p.

## **8. ANEXOS**

## Anexo 1. Especificaciones de la American Standard of Testing Materials (ASTM) D6751-06



### SPECIFICATION FOR BIODIESEL (B100) – ASTM D6751-06

June 2006

Biodiesel is defined as the mono alkyl esters of long chain fatty acids derived from vegetable oils or animal fats, for use in compression-ignition (diesel) engines. This specification is for pure (100%) biodiesel prior to use or blending with diesel fuel. #

Property	ASTM Method	Limits	Units
Flash Point	D93	130 min.	Degrees C
Water & Sediment	D2709	0.050 max.	% vol.
Kinematic Viscosity, 40 C	D445	1.9 - 6.0	mm <sup>2</sup> /sec.
Sulfated Ash	D874	0.020 max.	% mass
Sulfur	D5453		ppm
S 15 Grade		15 max.	
S 500 Grade		500 max.	
Copper Strip Corrosion	D130	No. 3 max.	
Cetane	D613	47 min.	
Cloud Point	D2500	Report	Degrees C
Carbon Residue 100% sample	D4530*	0.050 max.	% mass
Acid Number	D664	0.50 max.	mg KOH/gm
Free Glycerin	D6584	0.020 max.	% mass
Total Glycerin	D6584	0.240 max.	% mass
Phosphorus Content	D 4951	0.001 max.	% mass
Distillation Temp, Atmospheric Equivalent Temperature, 90% Recovered	D 1160	360 max.	Degrees C
Sodium/Potassium	UOP 391	5 max, combined	ppm

\* The carbon residue shall be run on the 100% sample.

# A considerable amount of experience exists in the US with a 20% blend of biodiesel with 80% diesel fuel (B20). Although biodiesel (B100) can be used, blends of over 20% biodiesel with diesel fuel should be evaluated on a case-by-case basis until further experience is available.