

Análisis de rentabilidad de producción de biodiesel en la planta piloto de Zamorano a partir de aceites de palma africana (*Elaeis guineensis*), maíz (*Zea mays*) y soya (*Glycine max*)

Oscar Félix De Marzo Peña

Zamorano, Honduras

Diciembre, 2007

ZAMORANO
CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

Análisis de rentabilidad de producción de biodiesel en la planta piloto de Zamorano a partir de aceites de palma africana (*Elaeis guineensis*), maíz (*Zea mays*) y soya (*Glycine max*)

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

Presentado por:

Oscar Félix De Marzo Peña

Zamorano, Honduras

Diciembre, 2007

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.

Oscar Félix De Marzo Peña

Zamorano, Honduras
Diciembre, 2007

Análisis de rentabilidad de producción de biodiesel en la planta piloto de Zamorano a partir de aceites de palma africana (*Elaeis guineensis*), maíz (*Zea mays*) y soya (*Glycine max*)

Presentado por:

Oscar Félix De Marzo Peña

Aprobado:

Francisco Javier Bueso, Ph.D.
Asesor principal

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

Adolfo Antonio Fonseca. M.A.E.
Asesor

Raúl Espinal, Ph.D.
Decano Académico

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

DEDICATORIA

A Dios por guiar mi camino especialmente durante estos cuatro años y por llenar mi vida y la de mi familia de bendiciones.

A mis padres, Oscar y Soledad, por su apoyo incondicional y sus buenos consejos durante mi vida.

A mi abuelo, Ramón, por darme la fe que me faltaba al entrar a Zamorano.

A mi familia hondureña por darme su cariño y comprensión desde el primer día que llegue.

A mis colegas por llenar mi vida de buenas experiencias y momentos inolvidables.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por acompañar siempre mi camino.

A mí querida familia por creer en mí.

A todos los profesores de la carrera de Agroindustria por mostrarme su apoyo incondicional en la realización de este proyecto.

Al Doctor Francisco Bueso por transmitirme sus conocimientos día a día y por su paciencia en todo el transcurso de la realización del proyecto.

Al Ingeniero Adolfo Fonseca Alcalá por su apoyo en la realización e interpretación del análisis de factibilidad del proyecto.

Al Ingeniero Javier Rubio por su tiempo y dedicación en la solución de los principales problemas que se presentaron sobre inversiones en el proyecto.

AGRADECIMIENTO A PATROCINADORES

A la Corporación Suiza para el desarrollo (COSUDE) por su ayuda con una beca integral para realizar mis estudios en Zamorano.

RESUMEN

De Marzo, O. 2007. Análisis de rentabilidad de producción de biodiesel en la planta piloto de Zamorano a partir de aceites de palma africana (*Elaeis guineensis*), maíz (*Zea mays*) y soya (*Glycine max*). Proyecto Especial del Programa de Ingeniero en Agroindustria Alimentaria. Escuela Agrícola Panamericana, Honduras. 24p.

En el presente estudio se determinó que la producción de biodiesel en la planta piloto de Zamorano no es rentable, debido principalmente al alto costo de producción en el que influyó el precio del aceite nuevo refinado. Los costos incluyendo el porcentaje de mezcla (8%) con aceite usado del comedor estudiantil resultaron en L. 16.71 por litro (L. 58.72 por galón) y el precio al cual se tendría que vender este biodiesel para que el proyecto sea rentable (VAN positivo) es L. 18.75 por litro (L. 71 por galón). La mezcla con aceite usado se utilizó como una alternativa para reducir los costos de producción. Los resultados de los análisis físico-químicos realizados al aceite usado del comedor estudiantil cumplieron con los estándares internacionales: 0.1% ácidos grasos libres, 1.69 % de impurezas, 9,500 Kcal/Kg. El rendimiento fue 86.5% cuando se utilizó un aceite de 2.5% de acidez. Como una alternativa se analizaron mezclas entre aceites de 4.7% de acidez y 0.1% de acidez resultando que una mezcla 55/45 redujo la acidez a 1.5% y de ésta manera se puede evitar el proceso de neutralización y reducir los costos. Producir biodiesel con 100% de aceite usado del comedor estudiantil que cumpla los requisitos mínimos de la ASTM es una alternativa para que el proyecto sea rentable en Zamorano. Cabe recalcar que este aceite se puede conseguir a un precio relativamente bajo a través de las franquicias de comidas rápidas que se encuentran en Tegucigalpa. El análisis de sensibilidad mostró que con una reducción en los costos de 80% y en el precio de venta de 85% se es rentable pero no llega a ser competitivo con el precio actual del diesel fósil. Una reducción de 50% en los costos haría rentable y competitivo el biodiesel.

Palabras clave: aceite usado, transesterificación, VAN.

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
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 OBJETIVOS.....	2
1.1.2 General.....	2
1.1.3 Específicos.....	2
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 GENERALIDADES.....	3
2.2 PRODUCCIÓN DE BIODIESEL.....	3
2.3 SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	4
2.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL BIODIESEL.....	5
2.5 PRECIOS DEL DIESEL EN HONDURAS.....	6
2.6 SUBPRODUCTOS.....	7
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
3.1 LOCALIZACIÓN DEL ESTUDIO.....	8
3.2 MATERIALES.....	8
3.2.1 Información recopilada.....	8
3.2.2 Materia prima.....	8
3.2.3 Equipo.....	9
3.3 MÉTODOS.....	9
3.3.1 Análisis de costos aceite nuevo refinado e insumos.....	9

3.3.2	Análisis físico-químico para el aceite de palma usado del comedor estudiantil y la madera de desperdicio de la sección de forestales.....	10
3.3.3	Refinamiento de aceite usado del comedor.....	11
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	12
4.1	ANÁLISIS QUÍMICOS.....	12
4.1.1	Análisis de porcentaje de ácidos grasos libres y porcentaje de impurezas.....	12
4.1.2	Neutralización de aceite usado.....	12
4.1.3	Mezcla de aceites con porcentaje de acidez de 0.1 % y 4.7 %.....	13
4.1.4	Medición de poder calorífico de biodiesel de aceite usado del comedor y madera de desperdicio.....	13
4.1.5	Rendimiento de biodiesel de aceite usado.....	13
4.2	ANÁLISIS DE COSTOS.....	14
4.2.1	Costos variables mensuales por materia prima a utilizar.....	14
4.2.2	Costos operativos mensuales.....	15
4.2.3	Costos totales anuales por materia prima.....	15
4.3	INVERSIONES.....	16
4.4	FLUJOS DE CAJA.....	16
5.	CONCLUSIONES.....	21
6.	RECOMENDACIONES.....	22
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	23

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Comparación de características químicas entre diesel y biodiesel.....	4
2. Características físico-químicas de aceites que se pueden utilizar para producción de biodiesel.....	5
3. Resultados del análisis de ácidos grasos libres e impurezas.....	12
4. Resultados de neutralización de aceite usado con NaOH.....	12
5. Resultados de mezclas para neutralización de aceites con diferentes porcentajes de acidez.....	13
6. Resultados del análisis de calorimetría para biodiesel del aceite usado del comedor y para la madera de desperdicio.....	13
7. Rendimiento de biodiesel a partir de aceite usado del comedor.....	13
8. Costos variables por tonelada.....	14
9. Costos operativos mensuales.....	15
10. Costos totales anuales por materia prima a utilizar.....	15
11. Costos de las inversiones que se tienen que realizar.....	16
12. Flujo de caja sin deuda aceite de palma.....	17
13. Flujo de caja con deuda aceite de palma.....	18
14. Flujo de caja sin deuda aceite de soya.....	18
15. Flujo de caja con deuda aceite de soya.....	19
16. Plan de amortización anual al préstamo para inversión.....	19
17. Plan de amortización anual al préstamo para capital de trabajo.....	20
18. Análisis de sensibilidad flujo de caja sin deuda aceite de palma.....	20

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Transesterificación de triglicéridos con alcohol.....	4
2. Comportamiento del precio del diesel en Honduras durante el año 2006.....	6
3. Comportamiento del precio del diesel en Honduras de enero a septiembre del 2007.....	7

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente la necesidad de energía renovable es un hecho, ya que nuestros recursos renovables cada vez son menos y los no renovables se están extinguiendo. En Zamorano se están realizando esfuerzos para que los recursos renovables y no renovables sean utilizados de una manera más eficiente. Por este motivo se creó el Centro de Energía Renovable manejado por el Doctor Mario Contreras. La implementación de una planta de producción de biodiesel puede contribuir a la investigación sobre cómo dar un mejor uso y manejo a los recursos energéticos dentro de Zamorano

El uso de aceites refinados o usados para elaborar biodiesel en la actualidad radica en su disponibilidad y precio. Los precios de los aceites refinados son cada vez más elevados mientras que la reutilización del aceite usado es una alternativa que llena las expectativas de cualquier productor de biodiesel siempre y cuando cumpla con los requerimientos de calidad (bajo porcentaje de ácidos grasos libres, AGL, porcentaje de impurezas e índice de peróxidos, IP).

La opción de utilizar biodiesel radica no sólo en que sea una alternativa de menor costo, se tiene que pensar también como una opción para reducir las emisiones contaminantes que produce la utilización de combustibles fósiles.

Los combustibles fósiles en Honduras fueron subsidiados hasta el 15 de octubre de 2007, por esta razón los precios eran más bajos al compararlos con los precios en los demás países de Centro América. Los precios no han cambiado mucho en la actualidad por lo que el biodiesel no es competitivo a la fecha.

En Zamorano se cuenta con una planta piloto de producción de biodiesel donada por la Corporación Dinant en el año 2006 con capacidad para generar 450 litros (120 galones) en dos turnos de 8 horas cada una. Esta planta no se encuentra en funcionamiento aún y por tal motivo se realizó este estudio de rentabilidad.

1.1 OBJETIVOS

1.1.2 General

- Realizar un análisis de rentabilidad de producir biodiesel en Zamorano.

1.1.3 Específicos

- Realizar un análisis de la disponibilidad de materia prima para la producción de biodiesel.
- Analizar las características físico-químicas del aceite usado del comedor.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 GENERALIDADES

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 RME (Rapeseed Methyl Ester - metil éster de aceite de semilla de colza) (Eco2site, 2006).

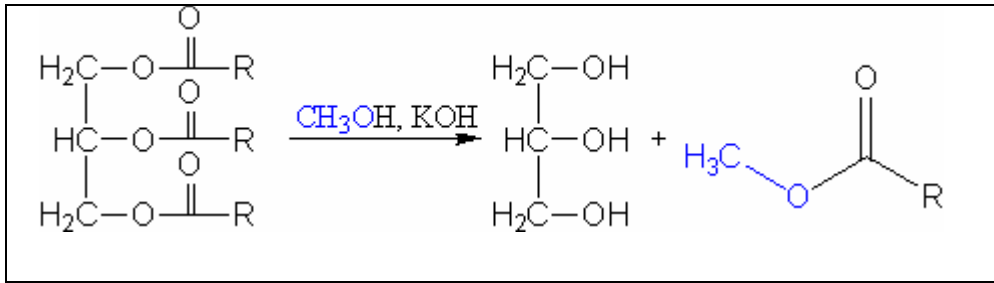
Dentro del uso de diferentes tipos de aceites y derivados se reserva el término de BIODIESEL a un conjunto de combustibles oxigenados basados en ésteres de fuentes biológicas renovables (aceites vegetales, aceites animales, aceites reciclados y grasas usadas). Como terminología general, su empleo en motores de combustión interna puede realizarse al 100 % puro (B100) o en mezclas de proporciones variables con gasoil (Ej. B20) 20 % biodiesel 80 % gas-oil (Hilbert, 2006)

2.2 PRODUCCIÓN DE BIODIESEL

Desde el punto de vista químico, los aceites vegetales son triglicéridos, es decir tres cadenas moleculares largas de ácidos grasos unidas a un alcohol trivalente, el glicerol. Si el glicerol es reemplazado por metanol, se obtienen tres moléculas más cortas del ácido graso metiléster (Figura 1). El glicerol desplazado se recupera como un subproducto de la reacción. Por lo tanto en la reacción de transesterificación, una molécula de un triglicérido reacciona con tres moléculas de metanol o etanol para dar tres moléculas de monoésteres y una de glicerina (SAGPA, 2007)

El aceite es inicialmente calentado a la temperatura de proceso óptima (55 °C), y son agregados cantidades necesarias de metanol y catalizador. Luego de ser mezclado, el producto es transportado hacia dos columnas conectadas en serie. La transesterificación tiene lugar en esas columnas y la glicerina pura es liberada mediante decantación (SAGPA,2007).

Los ésteres son lavados dos veces con agua acidificada. La glicerina obtenida es separada de los ésteres en pocos segundos, obteniendo de ese modo biodiesel de muy alta calidad, el cual cumple con todos los requerimientos de las normas estándar estadounidenses. El glicerol para ser utilizado debe ser refinado (SAGPA, 2007).



Fuente: Biodiesel Uruguay, 2006.

Figura 1. Transesterificación de triglicéridos con alcohol.

Las características químicas del biodiesel producido dependen de las características del aceite utilizado para su producción. En el Cuadro 1 se puede observar una comparación de las características químicas entre el diesel fósil y el biodiesel.

Cuadro 1. Comparación de características químicas entre diesel y biodiesel.

Datos físico-químicos	Biodiesel	Diesel
Composición combustible	Ester metílico Ac.Grasos C12- C22	Hidrocarburo C10-C21
Poder calorífico Kcal./Kg.	9500	10800
Viscosidad cinemática a 40° C	3.5-5.0	3.0-4.5
Peso específico (g/cm ³)	0.875-0.900	0.850
Azufre, (%)	0	0.2
Punto ebullición (°C)	190-340	180-335
Punto inflamación (°C)	120-170	60-80
Punto escurrimiento (°C)	-15/+16	-35/-15
Número de cetanos	48-60	46
Relación estequiométrica	13.8	15

Fuente: Eco2site, 2006.

2.3 SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Para la producción de biodiesel se puede utilizar aceite nuevo RBD o aceite usado. El aceite usado debe cumplir con los requerimientos mínimos para poder ser utilizado en el proceso. En el Cuadro 2 se especifican los requerimientos mínimos para que un aceite nuevo refinado pueda ser utilizado para la producción de biodiesel.

Cuadro 2. Características físico-químicas de aceites que se pueden utilizar para producción de biodiesel.

Aceite	Soya (refinado)	Maíz (refinado)	Palma (refinado)
Índice de yodo	132.6	136	53
Densidad a 25°C	0.920	0.913	0.899
Ácidos grasos saturados	15.8	14.2	51
Ácidos grasos no saturados	84.2	87.5	49
Ácidos grasos libres %	0.5	0.5	<0.5

Fuente: Colegio de médicos y cirujanos de Costa Rica, 2007.

2.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL BIODIESEL

Ventajas:

- Mayor temperatura de ignición haciendo su almacenaje, transporte y despacho mucho más seguro (Caniza, H. 2003).
- Generación de mano de obra en el sector agrario, ya que es un proceso recursivo que requiere de mayor cantidad de puestos de trabajo que el diesel obtenido del petróleo (Biodiesel Uruguay, 2006).
- Mayor duración y lubricidad de los motores, ya que por haber sido obtenido de aceites vegetales sus propiedades lubricantes ayudan al motor a funcionar de forma más eficiente (Caniza, H. 2003).
- Menor producción de partículas sólidas como monóxido de carbono y dióxido de azufre causantes de enfermedades respiratorias (Biodiesel Uruguay, 2006).
- Porcentaje de energía final que da la utilización de biodiesel es mayor a la que se utilizó para su fabricación (Rodríguez, 2006).

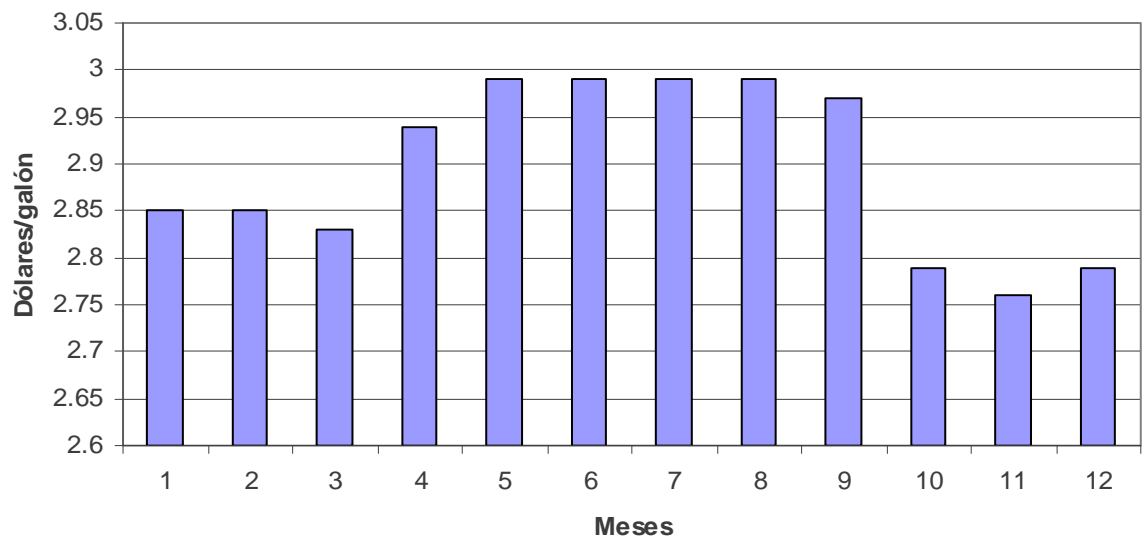
Desventajas:

- Alta dependencia del costo de las materias primas.
- Generación del coproducto glicerina cuya purificación a grado técnico sólo es viable para grandes volúmenes (Caniza, H. 2003).
- Menor capacidad energética (5% menos), aunque esto, en la práctica, no es tan notorio debido al mayor índice cetano, lo que produce una combustión más completa con menor compresión (Rodríguez, 2006).

2.5 PRECIOS DEL DIESEL EN HONDURAS

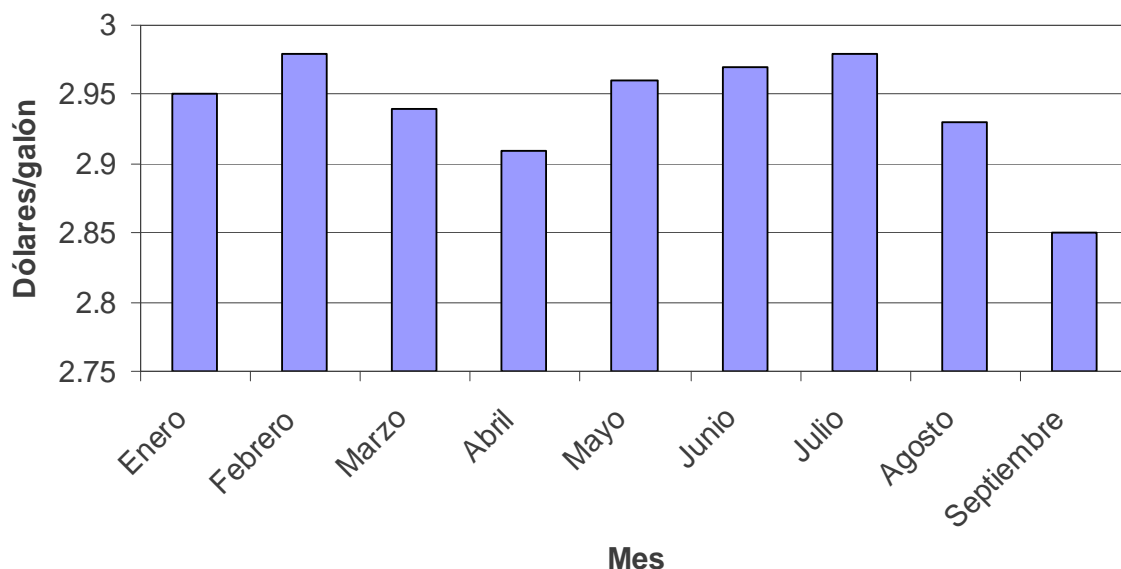
En las siguientes Figuras (2 y 3) se muestran los precios de diesel durante el año 2006 y 2007 respectivamente. Al comparar los dos años se puede observar que los precios en el 2006 no llegaron a 0.79 dólares por litro (3 dólares por galón) al igual que en el 2007 (Comisión Administradora del Petróleo, 2006). Los precios hasta el 15 de octubre se mantuvieron en un margen competitivo por el subsidio que dio el gobierno.

Referente a los precios de biodiesel en Honduras se cuenta con información de la corporación Dinant en el año 2006 siendo sus costos de 0.61 dólares por litro (2.31 dólares por galón) y el precio al cual lo vendían era de 0.66 dólares por litro (2.52 dólares por galón).



Fuente: Comisión Administradora del Petróleo, 2006.

Figura 2. Comportamiento del precio del diesel en Honduras durante el año 2006.



Fuente: Comisión Administradora del Petróleo, 2006.

Figura 3. Comportamiento del precio del diesel en Honduras de enero a septiembre del 2007.

2.6 SUBPRODUCTOS

Al producir biodiesel de aceite nuevo refinado se obtienen rendimientos de hasta un 96% en el caso del aceite de palma, 92% con aceite de soya y 92 % con aceite de maíz (Biodiesel Uruguay, 2006). El tiempo que lleva el proceso de producción de biodiesel por lo general es una hora para que ocurra la reacción y una hora para realizar el lavado y la separación, durante este proceso se obtienen subproductos como agua, metanol, hidróxido de sodio y glicerina (10% del volumen total producida).

En el mundo el uso de la glicerina sólo se puede realizar a grandes volúmenes puesto que necesita de un proceso de refinamiento para la industria cosmética o alimenticia.

Un estudio reciente en la universidad de Arkansas muestra que la glicerina refinada en un porcentaje de 5 % puede ser utilizada como un aditivo en una dieta alimenticia de pollos de granja, aumentando de esta manera la funcionalidad del pollo durante su crecimiento y mejorando significativamente la calidad de la carne (University of Arkansas, 2006). La glicerina por un proceso de fermentación puede ser convertido en propileno glicol el cual puede ser utilizado en pinturas, resinas, lubricantes, anticongelantes y cosméticos (Biodiesel Magazine, 2007).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LOCALIZACIÓN DEL ESTUDIO

El estudio se realizó en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ) localizado a 32 Kilómetros de Tegucigalpa en el departamento de Francisco Morazán. Los costos en general se recopilaron de distintas empresas hondureñas.

3.2 MATERIALES

3.2.1 Información recopilada

- Costos anuales de materia prima, mano de obra, mantenimiento e inversiones en maquinaria y equipo que se necesita implementar.
- Precios actualizados de aceites refinados Honduras.
- Disponibilidad de aceite usado que se puede recopilar mensualmente del comedor.
- Precios de diesel durante el año 2006 y parte del 2007 como referencia para precio base de biodiesel.
- Precios de biodiesel durante el año 2006.
- Eficiencia anual de la planta piloto.
- Características físico-químicas del aceite usado del comedor.

3.2.2 Materia prima

- Aceite de palma usado del comedor.
- Fenofaleína.
- Metanol (Inversiones Químicas S.A. Pureza: 100%, grado: reactivo).
- Hidróxido de sodio (Inversiones Químicas S.A. Pureza: 97%, grado: reactivo).
- Acido sulfúrico (Merck Inc., grado: reactivo).
- Carbonato de sodio (Laboratorio, grado: reactivo)
- Madera de Pino (*Pinus occarpa*) de desperdicio de la sección de Forestales de Zamorano.

3.2.3 Equipo

- Filtro al vacío (GE Motors and Industrial Systems, modelo: 1HAB-25-M100X).
- Calorímetro (Parr Instrument Company, bomb calorimeter. Model: 1241 serie: 3365).
- Balanza analítica Metler Modelo AE 200.
- Centrifugadora (Internacional Equipment Company, modelo: 2K)

3.3 MÉTODOS

3.3.1 Análisis de costos aceite nuevo refinado e insumos

La producción de biodiesel en la planta piloto se va realizar como objeto de estudio para todos los estudiantes de Zamorano. Puede pertenecer a un módulo de tercer año y de esta manera cumplir con los requerimientos de mano de obra. Se va contar sólo con un trabajador contratado. Todos los costos se trabajaron para una producción mensual de 4542 litros (1200 galones) y una producción diaria de 227 litros (60 galones) de biodiesel. La planta estará en funcionamiento 315 días al año trabajando 8 horas diarias, esto muestra una eficiencia de producción de 87% lo cual reduce la cantidad exacta de biodiesel que se producirá en promedio al año y las horas de trabajo.

La comercialización del biodiesel va ser diaria de acuerdo a la demanda dentro de Zamorano, la capacidad de almacenamiento de los tanques propuestos es de 600 galones cada 2 semanas por lo tanto se tiene que tratar de vender el biodiesel durante este periodo de tiempo. Para el análisis de costos se utilizó un porcentaje de mezcla de 8.3% de aceite usado del comedor, este porcentaje de mezcla se calculó de acuerdo a la disponibilidad de aceite usado con que cuenta el comedor.

Se realizaron flujos de caja con dos escenarios de producción de biodiesel con aceite de palma refinado y con aceite de soya refinado, a la vez se muestra en el Cuadro 18 un análisis de sensibilidad del flujo de caja sin deuda para el aceite de palma refinado.

Aceites, metanol, hidróxido de sodio, ácido cítrico: El costo del aceite de palma y maiz se consiguió mediante la corporación Dinant quien vende estos productos, en el caso del aceite de soya se investigó el precio FOB que se puede conseguir de una empresa Salvadoreña. El aceite tiene que ser comprado cada 10 días, por que la capacidad de los tanques no permite una compra mensual. Los costos de metanol, hidróxido de sodio y ácido cítrico se consiguieron con la empresa Inversiones Químicas S.A. la cual está dispuesta a ofrecer la cantidad que sea requerida para el proceso.

Mano de obra: Se tomó en cuenta el costo de un obrero asignándole un sueldo mínimo de 14 meses al año como especifica la ley hondureña.

Madera: Es madera de pino principalmente la corteza que es parte del desperdicio que se obtiene después de que el tronco ha pasado por el proceso de aserrado y se obtendrá de la Zamoempresa Forestales en donde se negoció un precio considerable que se muestra en el Cuadro 12. La cantidad de madera que se va utilizar se calculó de la cantidad de energía por hora que necesita la caldera que es de 110,000 Cal/Kg.

Agua: La cantidad de agua se calculó de la cantidad de agua que se requiere para que la caldera genere 1740 lb/h de vapor y la cantidad de agua que se necesita para el proceso de separación de fases en la parte final de la producción del biodiesel.

Materiales de limpieza: El detergente que se utilizará será obtenido de Industrias Alkemy, que es la misma que le distribuye a la planta de lácteos de Zamorano. La cantidad que se calculó no es relevante, ya que al momento del proceso se va saber la cantidad exacta que se necesitará.

Glicerina: La glicerina residual no se tomó en cuenta en el estudio, ya que es un subproducto del cual necesita una investigación muy a fondo para encontrarle su uso definido.

Flujo de caja: Se tomó una inflación del 10% anual, con un costo de oportunidad del 25% que es el costo que se maneja en Zamorano para cualquier proyecto de inversión. El formato de los cuadros donde se muestran los flujos de caja se hicieron según Riera J. 2002.

Primero se calcularon los costos por tonelada de biodiesel producido y luego se obtuvo los costos mensuales y anuales para obtener el costo total por litro y por galón.

3.3.2 Análisis físico-químico para el aceite de palma usado del comedor estudiantil y la madera de desperdicio de la sección de forestales

Se investigó costos para producir biodiesel del aceite usado del comedor como anexo al estudio y se compararon con los costos de los aceites refinados nuevos.

Para el aceite usado del comedor se realizaron los siguientes análisis: calorimetría, % de ácidos grasos, % de impurezas, neutralización, mezclas con diferente acidez y rendimiento en biodiesel.

Calorimetría: Se realizó en el calorímetro Parr utilizando el método ASTM D 240-76. Este método consiste en tomar 1 g de muestra de aceite y colocarlo en el calorímetro de Parr para que este mediante una inyección de calor queme el aceite y por temperaturas y tiempos se obtenga la energía total que genera éste. Se realizaron dos repeticiones y se tomó el promedio como resultado final.

El mismo procedimiento se utilizó para la muestra de madera.

Porcentaje de ácidos grasos libres: Se obtuvo realizando el método AOAC 940.28. Este método consiste en tomar una muestra de 7.05 g de aceite y mezclarlo con alcohol (50

ml.), NaOH (10 N) y fenofaleína (2 ml), después de la mezcla se procede a titularlo con NaOH (25 N) hasta que alcance un color rosado pálido. Se tomaron 6 muestras del aceite usado del comedor a cada una de ellas se hizo una repetición y los resultados muestran el promedio de cada repetición.

Porcentaje de impurezas: Se utilizó un filtro al vacío para cuantificar el % de residuos después de ser usado el aceite. Se tomaron 6 muestras de aceite usado del comedor a cada una de ellas se hizo una repetición y los resultados fueron obtenidos al restar el peso inicial del aceite antes de filtrado menos el peso final del aceite después de filtrado.

Rendimiento: Para completar el experimento se procedió a producir biodiesel del aceite usado que se recopiló en el comedor llevado a una acidez de 2.5 %. Se prepararon dos muestras con 100 g de aceite usado más 23 g de metanol + 1 g de KOH. Después de producir el biodiesel se sometió las muestras a temperatura de 105 ° C por un día para evaporar el agua que se pudo acumular. Al obtener la muestra después de haber pasado por el horno se restó la cantidad inicial de aceite y la cantidad final de biodiesel para calcular el rendimiento.

3.3.3 Refinamiento de aceite usado del comedor

Se procedió a llevar el aceite usado del comedor de una acidez de 0.1% a una acidez de 4.7%, con el objetivo de plantear un supuesto escenario en el que el aceite usado de comedor no llegue con 0.1% de acidez y se tenga que proceder a la neutralización o las mezclas. A continuación se muestran los procedimientos para reducir la acidez del aceite usado llevado a 4.7% de acidez:

Neutralización: Para poder realizar éste análisis J. Quezada con ayuda de A. Flores y J. Bueso desarrollaron un método con el objetivo de reducir la acidez del aceite usado del comedor al porcentaje óptimo para la producción de biodiesel. El método consistió en añadir 1 ml o 2 ml de NaOH al aceite con una acidez entre 4 y 5 % y mantener en constante movimiento durante 1 hora. El aceite fue llevado a una acidez de 4.7% utilizando ácido sulfúrico para poder realizar el análisis.

Mezclas: El objetivo de este análisis fue comparar cuánto se podía reducir la acidez del aceite usado utilizando dos formulaciones: 50/50 y 55/45. Se mezcló aceite con 4.7% y 0.1% de acidez utilizando las dos formulaciones antes mencionadas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANÁLISIS QUÍMICOS

4.1.1 Análisis de porcentaje de ácidos grasos libres y porcentaje de impurezas

Como se muestra en el Cuadro 3 el porcentaje de ácidos grasos libres fue 0.1% que está por debajo de las normas de calidad mínimas exigidas internacionalmente. El % de impurezas del aceite fue 1.69 % el cual refleja que con un filtrado simple el aceite puede quedar libre de impurezas y de esta manera facilitar el trabajo para la producción del biodiesel. Los resultados muestran que el aceite usado del comedor está apto para ser utilizado en la producción de biodiesel sin ningún problema.

Cuadro 3. Resultados del análisis de ácidos grasos libres e impurezas.

Fecha de análisis	% Ac. grasos libres	% Impurezas
04/09/2007	0.10	1.30
07/09/2007	0.10	1.28
11/09/2007	0.10	1.25
14/09/2007	0.10	0
17/09/2007	0.15	3.70
20/09/2007	0.15	2.60

4.1.2 Neutralización de aceite usado

Utilizando éste método como se muestra en el Cuadro 4 la acidez del aceite fue reducida a 2.6 y 2.5 en cada repetición. Se puede realizar otros análisis utilizando una mayor cantidad de NaOH para poder reducir la acidez hasta 0.5%, que es la acidez óptima según los estándares internacionales.

Cuadro 4. Resultados de neutralización de aceite usado con NaOH.

Aceite usado (ml)	Acidez inicial aceite (%)	NaOH (ml)	Ac. grasos Libres (%)
50	4.7	1	2.6
50	5.3	2	2.5

4.1.3 Mezcla de aceites con porcentaje de acidez de 0.1 % y 4.7 %

Como se muestra en el Cuadro 5 la formulación de 55/45 redujo la acidez de 4.7 % a 1.5 % siendo esta acidez óptima para la producción de biodiesel. Esto se convierte en una alternativa, ya que se evita incurrir en gastos de neutralización para bajar la acidez.

Cuadro 5. Resultados de mezclas para neutralización de aceites con diferente porcentaje de acidez inicial.

Aceite usado (ml)	Acidez inicial aceite (%)	Aceite usado (ml)	Acidez inicial aceite (%)	Ac. grasos libres (%)
50	0.1	50	4.7	2.5
55	0.1	45	4.7	1.5

4.1.4 Medición de poder calorífico de biodiesel de aceite usado del comedor y madera de desperdicio.

Los resultados del análisis calorimétrico (Cuadro 6) corroboran los encontrados en la literatura, mostrando que el método utilizado para este análisis fue el adecuado y que la madera y el biodiesel cumplieron con los estándares internacionales. El poder calorífico normal de una madera de pino es de 4000 Cal/g y el poder calorífico del biodiesel de palma es de 9460 Cal/g (Eco2site, 2006).

Cuadro 6. Resultados del análisis de calorimetría para biodiesel del aceite usado del comedor y para la madera de desperdicio.

Muestra	E° total (Cal/g)
Madera	4680.06
Biodiesel	9519.56

4.1.5 Rendimiento de biodiesel de aceite usado

El rendimiento del biodiesel como se muestra en el Cuadro 7 fue de 86.5%. Este rendimiento se puede justificar por el hecho de ser aceite usado, ya que el rendimiento del aceite refinado nuevo de palma es de 96% (Biodiesel Uruguay, 2006).

Cuadro 7. Rendimiento de biodiesel a partir de aceite usado del comedor.

Muestra	Rendimiento (%)
1	86.5

4.2 ANÁLISIS DE COSTOS

El estudio resultó que producir biodiesel de aceite nuevo refinado de cualquiera de las fuentes en la planta piloto no es rentable por el precio al cual se encuentra en la actualidad el diesel fósil. El precio de la materia prima se eleva cada día más y el diesel compite con precios relativamente bajos (Figura 3).

4.2.1 Costos variables mensuales por materia prima a utilizar

En el Cuadro 8 se detallan los costos variables por tonelada de biodiesel producido, sólo se toma en cuenta la materia prima principal para el proceso. Se refleja también los costos de procesar el aceite usado del comedor, de ésta manera se compara las cuatro posibles fuentes para el proceso de producción de biodiesel.

Cuadro 8. Costos variables por tonelada.

Materia prima	Unidad	Cantidad	Costo unitario (L.)	Costo palma (L.)	Costo soya (L.)	Costo maíz (L.)	Costo aceite usado (L.)
Aceite	Kg.	996.02					
Palma			15.22	15,155.44			
Soya			18.58		18,508.58		
Maíz			22.82			22,733.16	
Usado de comedor			0.00				0
Metanol	Kg.	134.19	14.07	1,888.73	1,888.73	1,888.73	1,888.73
Hidróxido de Sodio	Kg.	5.63	14.84	83.57	83.57	83.57	83.57
Acido cítrico	Kg.	0.90	14.27	12.84	12.84	12.84	12.84
Costo total por TM				17,140.57	20,493.71	24,718.29	1,985.13
Costo por KG de Biodiesel				17.21	20.58	24.82	1.99
Costo para 3477 KG				59,842.03	71,548.69	86,297.75	5,960.31
Costo por litro				15.14	18.11	21.84	1.75
Costo por Galón				57.32	68.53	82.66	6.64
Costo con mezcla				53.25	63.66	76.78	

4.2.2 Costos operativos mensuales

En el Cuadro 9 se muestran los costos y las cantidades de cada material que se va a utilizar en la producción del biodiesel. La mano de obra representa el 50% del total de los costos operativos mensuales. El costo total es L. 6,617.25 mensuales.

Cuadro 9. Costos operativos mensuales.

Material	Unidad	Cantidad	Costo unitario (L.)	Costo total (L.)
Agua	m ³	128	8.94	1,144.24
Madera	m ³	5	13.88	69.42
Material de limpieza	Kg	43	32.33	1,390.36
Mano de obra	Salario	1	3328.50	3,328.50
Electricidad	Kw.	720	0.95	684.72
Total				6,617.25

4.2.3 Costos totales anuales por materia prima

Los costos totales anuales se trabajaron tomando en cuenta la eficiencia de 87 % de la planta al año. El Cuadro 10 muestra que con el aceite refinado de palma se obtienen los costos por galón más bajos y el de maíz los más altos. Al realizar la mezcla con el aceite usado del comedor se redujeron los costos totales por galón a L. 58.72 en el caso del aceite de palma refinado.

Cuadro 10. Costos totales anuales por materia prima a utilizar.

Insumo	Palma (L.)	Soya (L.)	Maíz (L.)	Aceite usado (L.)
Materia prima	718,104.40	858,584.26	1,035,573.02	23,821.60
Agua	11,945.90	11,945.90	11,945.90	11,945.90
Madera	724.78	724.78	724.78	724.78
Material de limpieza	14,515.38	14,515.38	14,515.38	14,515.38
Mano de obra	39,942.00	39,942.00	39,942.00	39,942.00
Electricidad	7,148.48	7,148.48	7,148.48	7,148.48
Costo total anual	792,380.93	932,860.79	1,109,849.55	98,098.13
Costo por Kg.	18.99	22.36	26.60	2.35
Costo por Lt.	16.71	19.67	23.41	2.07
Costo por galón	63.25	74.46	88.59	7.83
Costo por mezcla	58.72	69.13	82.24	

4.3 INVERSIONES

En el Cuadro 11 se muestran los equipos y trabajos que se tendrán que realizar como parte de la inversión para que funcione la planta piloto. El costo total de la inversión tomando en cuenta la caldera, tanques de almacenamiento y la mano de obra para las instalaciones es L. 198,068.91.

Cuadro 11. Costos de las inversiones que se tienen que realizar.

Inversiones	Capacidad	Cantidad	Potencia	Volumen m3	Costo (L.)
Caldera combustión orgánica usada		1	10 Hp		75,000.00
Tanques para biodiesel		1		2.5	35,000.00
Tanque para metanol		1		0.6	14,000.00
Tanque para aceite		1		2.5	35,000.00
Succionadora de biodiesel		1			2,000.00
					163,000.00
Mano de obra instalaciones					24,450.00
Aislantes de tuberías		33			6,918.91
Instalación eléctrica		1			3,000.00
Conexión de alimentadores					3,000.00
Costo total					198,068.91

4.4 FLUJO DE CAJA

Los Cuadros 12 y 13 muestran las ganancias esperadas con aceite de palma con el capital de inversión donado u obtenido por préstamos respectivamente. El precio al cual se tiene que vender el biodiesel tiene que ser L. 18.75 por litro (L. 71 por galón) para que el proyecto sea rentable.

Los Cuadros 14 y 15 muestran las ganancias esperadas con aceite de soya con el capital de inversión donado u obtenido por préstamos respectivamente. El precio al cual se tiene que vender el biodiesel producido tiene que ser L. 21.4 por litro (L. 81.5 por galón) para que el proyecto sea rentable.

El costo de oportunidad que se tomó en los dos casos es del 25%, ya que es el que utilizan en la Universidad para los proyectos de inversión.

Se tomó una inflación anual de 10 % en cuanto a los costos de materia prima e insumos y mano de obra.

El Cuadro 16 muestra el plan de amortización al préstamo para la inversión tomando en cuenta una tasa de descuento de 15% por un período de 5 años. El Cuadro 17 muestra el plan de amortización al préstamo para el capital de trabajo tomando en cuenta una tasa de

descuento del 15% por un período de 3 años. Se hicieron dos planes de amortización, ya que el capital de trabajo se paga en menos años que la inversión. El Cuadro 18 muestra el análisis de sensibilidad para el flujo de caja sin deuda aceite de palma. Si reducimos los costos en un 80% se puede reducir el precio de venta en un 85% pero todavía no sería competitivo el biodiesel comparado con el diesel fósil.

Cuadro 12. Flujo de caja sin deuda aceite de palma.

Flujo de caja							
Costo total unitario (\$/Gl.)	58.72						
Precio unitario (\$/Gl.)	71.00						
Producción anual (Gl.)	12,528.00						
Costo de oportunidad	25%						
		Año					
		0	1	2	3	4	5
Inversión							
Maquinaria y equipo	-198,068.91						
Capital de trabajo	-132,918.56						
Ingresos		889,488.00	978,436.80	1,076,280.48	1,183,908.53	1,302,299.38	
Costos totales		866,657.46	897,856.54	930,511.53	964,718.10	1,000,579.98	
Utilidad bruta	-332,137.47	22,830.54	80,580.26	145,768.95	219,190.43	301,719.40	
VAN	1,703.87						
TIR	25.22%						
PR	2.87						

Cuadro 13. Flujo de caja con deuda aceite de palma.

Flujo de caja							
Costo total unitario (\$/Gl.)	58.72						
Precio unitario (\$/Gl.)	76.00						
Producción anual (Gl.)	12,528.00						
Costo de oportunidad	25%						
# de períodos	5						
		Año					
		0	1	2	3	4	5
Inversión							
Maquinaria y equipo	330,987.47						
Préstamo para inversión	138,648.24						
Préstamo capital de trabajo	93,042.99						
Ingresos		952,128.00	1,047,340.80	1,047,340.80	1,047,340.80	1,047,340.80	1,047,340.80
Costos totales		866,657.46	897,856.54	930,511.53	964,718.10	1,000,579.98	
Utilidad bruta	-99,296.24	85,470.54	149,484.26	116,829.27	82,622.70	46,760.82	
Pago de deuda		-47,477.32	-54,598.92	-62,788.76	-31,456.39	-36,174.84	
Pago de intereses		-6,961.54	-7,878.21	-8,932.38	-10,144.68	-5,426.23	
Flujo neto de efectivo	-99,296.24	31,031.68	87,007.13	45,108.13	41,021.63	5,159.75	
VAN	1,769.75						
TIR	37.30%						

Cuadro 14. Flujo de caja sin deuda aceite de soya.

Flujo de caja							
Costo total unitario (\$/Gl.)	69.13						
Precio unitario (\$/Gl.)	81.50						
Producción anual (Gl.)	12,528.00						
Costo de oportunidad	25%						
		Año					
		0	1	2	3	4	5
Inversión							
Maquinaria y equipo	-198,068.91						
Capital de trabajo	-132,918.56						
Ingresos		1,021,032.00	1,123,135.20	1,235,448.72	1,358,993.59	1,494,892.95	
Costos totales		1,007,137.32	1,042,550.80	1,079,546.62	1,118,224.24	1,158,691.31	
Utilidad bruta	-332,137.47	13,894.68	80,584.40	155,902.10	240,769.35	336,201.64	
VAN	15,327.87						
TIR	27%						
PR	2.87						

Cuadro 15. Flujo de caja con deuda aceite de soya.

Flujo de caja							
Costo total unitario (\$/Gl.)	69.13						
Precio unitario (\$/Gl.)	88.00						
Producción anual (Gl.)	12,528.00						
Costo de oportunidad	25%						
# de períodos	5.00						
		Año					
		0	1	2	3	4	5
Inversión							
Maquinaria y equipo	332,137.47						
Préstamo inversión	139,453.24						
Préstamo capital de trabajo	93,042.99						
Ingresos		1,102,464.00	1,212,710.40	1,212,710.40	1,212,710.40	1,212,710.40	1,212,710.40
Costos totales		1,007,137.32	1,042,550.80	1,079,546.62	1,118,224.24	1,158,691.31	1,158,691.31
Utilidad bruta	-99,641.24	95,326.68	170,159.60	133,163.78	94,486.16	54,019.09	54,019.09
Pago de deuda		-47,477.32	-54,598.92	-62,788.76	-31,456.39	-36,174.84	-36,174.84
Pago de intereses		-6,961.54	-7,878.21	-8,932.38	-10,144.68	-5,426.23	-5,426.23
Flujo neto de efectivo	-99,641.24	40,887.82	107,682.47	61,442.64	52,885.09	12,418.02	12,418.02
VAN	4,069.14						
TIR	54%						

Cuadro 16. Plan de amortización anual al préstamo para inversión.

Amortización					
Tasa	15%				
Períodos (años)	5				
Monto	138,648.24				
Cuota	-41,360.93				
Período	Cuota	Pago capital	Pago intereses	Saldo	
0				138,648.24	
1	-41,360.93	-20,563.69	20,797.24	118,084.55	
2	-41,360.93	-23,648.24	17,712.68	94,436.30	
3	-41,360.93	-27,195.48	14,165.45	67,240.82	
4	-41,360.93	-31,274.80	10,086.12	35,966.02	
5	-41,360.93	-35,966.02	5,394.90	0.00	

Cuadro 17. Plan de amortización anual al préstamo para capital de trabajo.

Amortización				
Tasa		15%		
Períodos (años)		3		
Monto		93,042.99		
Cuota		(40,750.69)		
Período	Cuota	Pago capital	Pago intereses	Saldo
0				93,042.99
1	(40,750.69)	(26,794.24)	13,956.45	66,248.76
2	(40,750.69)	(30,813.37)	9,937.31	35,435.38
3	(40,750.69)	(35,435.38)	5,315.31	0.00

Cuadro 18. Análisis de sensibilidad de flujo de caja sin deuda aceite de palma.

Costos/Ingresos	80	85	90	95	100	105	110
80	-52,514.9	59,505.58	171,526	283,546	395,567	507,587	619,608
85		-39,190.2	72,830	184,850	296,871	408,891	520,912
90			-25,865	86,154	198,175	310,195	422,216
95			-124,561	-12,540	99,479	211,500	323,520
100			-223,257	-111,237	783.87	112,804	224,824
105				-209,932	-97,911	14,108	126,129
110				-308,628	-196,608	-84,587	27,433

5. CONCLUSIONES

- El proceso de producción de biodiesel en la planta piloto de Zamorano no es rentable en la actualidad porque el precio del diesel fósil es más bajo.
- La glicerina como principal residuo del proceso no se le encontró ninguna utilidad, ya que su aprovechamiento sólo se logra con grandes volúmenes.
- Las características físico-químicas del aceite de palma usado del comedor son excelentes para producir biodiesel, pero sólo cubre un 8% del total de aceite que se necesita al mes.

6. RECOMENDACIONES

- Dar seguimiento a la posibilidad de comprar aceite usado de restaurantes de comidas en rápidas en Tegucigalpa.
- Realizar un estudio acerca de los usos que se le puede dar a la glicerina que sale del proceso.
- Poner en funcionamiento la planta piloto por motivos educativos.

7. BIBLIOGRAFÍA

Biodiesel Magazine. 2007. Discovering New Uses for Glycerin (en línea). Consultado el 23 de septiembre de 2007. Disponible en:

http://biodieselmagazine.com/article.jsp?article_id=1796

Biodiesel Uruguay. 2006. Los principales beneficios de el piñón (en línea). Consultado el 16 de noviembre de 2006. Disponible en:

http://www.biodiesel-uruguay.com/beneficios_biodiesel.php

Caniza, H. 2003. Usando restos para movernos (en línea). Consultado el 17 de septiembre de 2007. Disponible en:

http://www.dei.uc.edu.py/tai2003-2/biodiesel/ventajas_y_desventajas_del_biodi.htm

Colegio de médicos y cirujanos de Costa Rica, 2007. Composición, caracterización y potencial aterogénico de aceites, grasas y otros derivados producidos o comercializados en Costa Rica (en línea). Consultado el 3 de Julio de 2007. Disponible en:

http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0001-60022005000100006&script=sci_arttext

Comisión Administradora del Petróleo. 2006. Historiales de precios (en línea). Consultado el 19 de agosto del 2007. Disponible en:

<http://www.cap.gob.hn/general/noticias/cap250607.htm#arriba>

Eco2site. 2006. Biodiesel en el mundo (en línea). Consultado el 10 de noviembre de 2006. Disponible en: <http://www.eco2site.com/informes/biodiesel-m.asp>

Hilbert, J. 2006. El combustible vegetal específico para el agro biodiesel (en línea). Consultado el 17 de septiembre de 2007. Disponible en:

<http://www.inta.gov.ar/ediciones/idia/oleaginosa/varios02.pdf>

Riera, J. 2002. Análisis de Costos y Estudio de Viabilidad Económica para el Mejoramiento del Laboratorio de Suelos de Zamorano (en línea). Consultado el 8 de octubre de 2007. Disponible en:

http://zamo-oti-02.zamorano.edu/tesis_infolib/2002/T1595.pdf

Rodríguez, J. 2006. Producción y evaluación de biodiesel a partir de aceite de girasol (*Heliantus annuus*) de desecho del comedor estudiantil de Zamorano (en línea). Consultado el 14 de septiembre de 2007. Disponible en: http://zamo-oti-02.zamorano.edu/tesis_infolib/2006/T2307.pdf

Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados, 2007. Costo de suministro de agua potable por m³ (en línea). Consultado el 8 de octubre de 2007. Disponible en: <http://www.sanaa.hn/sanaa.htm>

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos (SAGPA), 2007. Proceso de elaboración de Biodiesel (en línea). Consultado el 17 de septiembre de 2007. Disponible en: http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/agricultura/otros/biodiesel/biodiesel_3.php

University of Arkansas, 2006. Daily Headlines (en línea). Consultado el 23 de septiembre de 2007. Disponible en: <http://dailyheadlines.uark.edu/9013.htm>