

**Producción de biodiesel  
a partir de aceite de tempate**

**Producing biodiesel using jatropha oil**

Claudia Cecilia Leiva Bautista

# REALIDAD Y REFLEXIÓN

## Reality and Reflection

Año 10, No. 32  
Year 10, Nr. 32

San Salvador, El Salvador, Centroamérica  
San Salvador, El Salvador, Central America

Revista Cuatrimestral  
Quarterly Journal

Mayo-Agosto 2011  
May-August 2011

### Producción de biodiesel a partir de aceite de tempate

### Producing biodiesel using jatropha oil

Claudia Cecilia Leiva Bautista  
Investigadora en Energías Renovables  
Universidad Francisco Gavidia

El objetivo general de la investigación fue desarrollar un proceso eficiente de producción de biodiesel, a partir del aceite extraído de las semillas de tempate (*Jatropha curcas*). El primer objetivo específico fue analizar el efecto que produce la combustión de biodiesel sobre el calentamiento global, para lo cual, se midió la concentración de dióxido de carbono en las emisiones de un motor utilizando biodiesel. Además, se hizo lo mismo con diesel para usarlo como parámetro de comparación. El segundo objetivo específico, fue analizar si es factible sustituir el diesel por biodiesel en un motor, para lo cual, se midió el rendimiento del motor utilizando ambos combustibles en forma separada. Se logró la producción de biodiesel mediante la transesterificación del aceite con metanol y un catalizador alcalino (hidróxido de sodio). Se comprobó que el biodiesel emite una menor cantidad de dióxido de carbono, en relación al diesel, por lo cual se reduce el calentamiento global; al mismo tiempo, se obtuvo un mayor rendimiento en el motor utilizando biodiesel. BIODIESEL, JATROPHA CURCAS, TRANSESTERIFICACIÓN, CALENTAMIENTO GLOBAL.

The general objective of this research was to develop an efficient process to produce biodiesel from the oil extracted from the seeds of *Jatropha curcas*. The first specific objective was to analyze the effect of biodiesel combustion over the global warming, measuring the emission of carbon dioxide in a motor using biodiesel. Besides, the same measures were done with diesel, in order to compare the values. The second specific objective was to analyze if it is feasible the substitution of diesel by biodiesel in a motor, measuring the efficiency of the motor using both combustibles alternatively. The production of biodiesel was achieved by means of the transesterification of the oil with methanol and sodium hydroxide as catalyst. It was verified that the emissions of carbon dioxide using biodiesel are smaller in relation with the use of diesel. It means that the use of biodiesel contributes to the reduction of global warming. At the same time it was achieved more efficiency of the motor using biodiesel. BIODIESEL, JATROPHA CURCAS, TRANSESTERIFICATION, GLOBAL WARMING.

## 1. Introducción.

### 1.1 El problema con el petróleo.

El petróleo es un combustible fósil no renovable, por lo cual, la cantidad disponible es limitada. Los yacimientos de petróleo accesibles para la explotación se agotarán en las próximas décadas, agudizando la crisis energética a nivel mundial. Es urgente sustituir las fuentes convencionales de energía por fuentes de energía que sean renovables, entre ellas, los biocombustibles.

Los gases de la combustión del petróleo producen un efecto invernadero, que es la causa del calentamiento global que afecta al planeta. Las consecuencias son: fuertes huracanes, prolongadas sequías, grandes inundaciones, derretimiento de los casquetes polares y milenarios glaciares, extinción de numerosa biodiversidad, propagación de plagas y enfermedades. Además, los gases de combustión contaminan el aire, afectando la salud de la población. Las enfermedades respiratorias ocupan un lugar importante como motivo de consulta en los centros de salud, y también son la causa de muchas incapacidades laborales.

El alto precio del petróleo está impactando negativamente la economía de El Salvador. Consecuentemente también se han elevado los precios de los alimentos, medicinas, energía eléctrica y otros servicios. En poco tiempo se ha producido un incremento constante en el precio de los productos derivados del petróleo. Estos precios no disminuirán, al contrario, seguirán aumentando desmesuradamente,

porque la demanda mundial de este recurso es mayor a su producción.

En los últimos años, debido a la crisis del petróleo, se ha dado importancia nuevamente a los biocombustibles. Se habla sobre las ventajas y desventajas de utilizarlos. Los que están a favor de los biocombustibles consideran que son la alternativa al uso de los combustibles fósiles, porque producen menos gases de efecto invernadero; responsables del calentamiento global.

Los que se oponen a los biocombustibles, consideran que es inadecuado utilizar terrenos donde se cultivan alimentos, con el objeto de producir biocombustibles que alimentarán motores en vez de personas. Con el tempate, este problema no sucedería porque se puede cultivar en suelos infértiles y erosionados, suelos que no sirven para cultivar alimentos.

Se especula que aumentará el hambre en los países pobres, porque ya no producirán alimentos para satisfacer sus necesidades alimentarias, sino que para satisfacer el elevado consumo de biocombustibles de los países ricos. Sin embargo, que se produzca esta situación dependerá de las decisiones políticas que tomen los gobiernos de los países en vías de desarrollo.

### 1.2. El biodiesel.

#### 1.2.1 Características.

El biodiesel es un biocombustible sintético líquido, que se obtiene a partir de lípidos naturales como aceites vegetales o grasas animales, nuevos o

usados, mediante procesos industriales de esterificación y transesterificación.

El biodiesel puede mezclarse con diesel procedente del refino de petróleo en diferentes cantidades. Se utilizan notaciones abreviadas según el porcentaje por volumen de biodiesel en la mezcla: B100 en caso de utilizar sólo biodiesel, otras notaciones como B5, B15, B30 o B50, donde la numeración indica el porcentaje por volumen de biodiesel en la mezcla.

El aceite vegetal, cuyas propiedades para la impulsión de motores se conocen desde la invención del motor diesel gracias a los trabajos de Rudolf Diesel, ya se destinaba a la combustión en motores de ciclo diesel convencionales o adaptados.

A principios del siglo XXI, en el contexto de búsqueda de nuevas fuentes de energía y la creciente preocupación por el calentamiento global del planeta, se impulsó el desarrollo del biodiesel para su utilización en automóviles como combustible alternativo a los derivados del petróleo.

El biodiesel descompone el caucho natural, por lo que es necesario sustituir éste por elastómeros sintéticos en caso de utilizar mezclas de combustible con alto contenido de biodiesel.

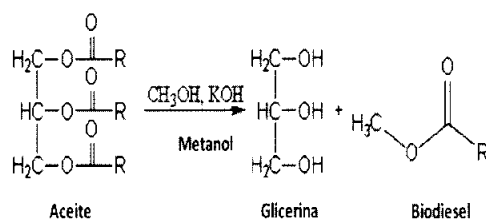
### 1.2.2. Estructura química.

El biodiesel se describe químicamente como compuestos orgánicos de ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga y corta.

El proceso de transesterificación consiste en combinar el aceite (normalmente aceite

vegetal) con un alcohol ligero (normalmente metanol) y un catalizador alcalino (hidróxido de sodio). La reacción tiene como productos el biodiesel y la glicerina. Esta última puede ser aprovechada por la industria cosmética, entre otras. La reacción de producción de biodiesel es la siguiente:

Figura 1. Reacción de transesterificación



### 1.2.3 Ventajas de utilizar biodiesel.

Las ventajas que se tendrían con la utilización de biodiesel son las siguientes:

- Disminución de la contaminación del aire. El Salvador podría producir biodiesel para sustituir parcial o totalmente el diesel que se utiliza en el transporte público y privado. El biodiesel contamina menos que el diesel.
- Disminución en la producción de gases de efecto invernadero.

El biodiesel produce menor cantidad de dióxido de carbono, principal gas de efecto invernadero, en relación al diesel. Por consiguiente, se reduciría el calentamiento global que actualmente nos afecta.

- Disminución en la factura anual de diesel pagada por la población.

Con la utilización de biodiesel reduciríamos la factura de petróleo, bastante elevada, que afecta negativamente a nuestra economía.

- Generación de empleo en las zonas donde se cultive el Tempate.

Este cultivo bioenergético, es una fuente potencial de ingresos para los campesinos, quienes podrían vender las semillas o el aceite extraído para la fabricación de biodiesel.

### 1.3 El tempate.

#### 1.3.1 Características.

Tempate es el nombre común, utilizado en El Salvador, para la especie vegetal de nombre científico *Jatropha Curcas*. Esta especie vegetal es una *Euphorbiacea*, que tiene propiedades medicinales, nativa de América Central. Fue difundida en Asia y África por comerciantes portugueses, como planta para cercar, y hoy en día se ha expandido por el mundo entero.

Las semillas contienen aceite no comestible, que se puede utilizar directamente para aprovisionar de combustible a lámparas y motores de combustión, o se puede transformar en *biodiesel*, mediante un proceso de transesterificación. Además, se usa para fabricar jabones, pero también, puede derivar en colorante.

La *Jatropha Curcas* resiste altas temperaturas y las sequías. Más de ocho meses de sequía al año y temperaturas que rondan los 40 grados Celsius no la marchitan. Prospera con apenas 250 a 600

mm de lluvia al año. En lugares desérticos, donde no pone una raíz ni la mala hierba, dicha especie vegetal es capaz de crear con sus arbustos que alcanzan los seis metros de altura, auténticos bosques verdes.

El secreto que hace a la *Jatropha Curcas* resistente a todo tipo de plagas es su veneno. El uso de pesticidas no es necesario, gracias a las características pesticidas y fungicidas de la misma planta. La erosión del suelo por el viento y el agua, tampoco hace mal a la *Jatropha Curcas*. Gracias a ella, el suelo erosionado vuelve a ser fértil.



Árbol de Tempate

#### 1.3.2 Origen

Es una oleaginosa de porte arbustivo con más de 3500 especies agrupadas en 210 géneros. Es originaria de México y Centroamérica, pero crece en la mayoría de los países tropicales. Se cultiva en América

Central, Sudamérica, Sureste de Asia, India y África.

### 1.3.3 Morfología vegetal.

- Es un arbusto que crece más de 2 metros de altura, con corteza de color blanco grisáceo, que exuda un látex translúcido.
- Los tallos crecen con discontinuidad morfológica en cada incremento.
- Normalmente se forman cinco raíces, una central y cuatro periféricas.
- Las hojas normalmente se forman con 5 a 7 lóbulos acuminados, pocos profundos y grandes, con pecíolos largos de 10 a 15 cm y de igual ancho. Árbol con hojas caducas.
- Las inflorescencias se forman terminalmente en el axial de las hojas en las ramas. Ambas flores, masculinas y femeninas, son pequeñas (6-8 mm), verdoso amarillo en el diámetro y pubescente. Cada inflorescencia rinde un manojo de aproximadamente 10 frutos ovoides o más. El desarrollo del fruto necesita 90 días desde la floración hasta que madura la semilla. Tarda dos años en florecer y producir semillas.
- Las frutas son cápsulas drupáceas y ovoides. Al inicio son carnosas pero dehiscentes cuando son secas. Las frutas son cápsulas inicialmente color verde pero volviéndose a café oscuro o negro en el futuro. Las semillas están maduras cuando el fruto cambia de color verde a amarillo.

- La fruta produce tres almendras negras, cada una aproximadamente de 2 centímetros de largo y 1 centímetro de ancho.



Semillas y frutos de Tempate

### 1.3.4 Fisiología vegetal.

Colocada la semilla en el sustrato adecuado y con una buena humedad, la germinación toma 5 días. Se abre la cáscara de la semilla, sale la radícula y se forman 4 raíces periféricas pequeñas. La germinación es epigea (cotiledones surgen sobre la tierra). Poco después que las primeras hojas se han formado, los cotiledones marchitan y se caen.

### 1.3.5 Período Vegetativo o Ciclo Productivo.

Es una planta perenne, cuyo ciclo productivo se extiende de 45 a 50 años. Es de crecimiento rápido y con una altura normal de 2 a 3 metros y en condiciones especiales llega hasta los 5 metros. El grosor del tronco es de 20 cms, con crecimiento desde la base hasta distintas ramas.

### 1.3.6 Hábitat.

No requiere un tipo de suelo especial. Se desarrolla normalmente en suelos áridos y semiáridos. Responde bien a suelos con pH no neutros. La *Jatropha* crece casi en cualquier parte, incluso en las tierras cascajosas, arenosas y salinas; puede crecer en la tierra pedregosa más pobre, inclusive puede crecer en las hendeduras de piedras.

Climáticamente, la *Jatropha Curcas* se encuentra en los trópicos y subtropicos. Resiste normalmente el calor, aunque también soporta bajas temperaturas y puede resistir hasta una escarcha ligera. Su requerimiento de agua es sumamente bajo y puede soportar períodos largos de sequedad. Habita en campos abiertos, así como en parcelas, no obstante, que es susceptible a las inundaciones.

### 1.3.7 Beneficios de cultivar tempate.

Extensiones de tierra hasta ahora inservibles podrían ser cultivadas con *Jatropha Curcas*, creando puestos de trabajo y beneficios a países con pocos recursos.

En nuestro país no existe producción de aceite vegetal, específicamente para la obtención de biodiesel. Una alternativa viable es cultivar tempate que produce semillas oleaginosas de las cuales se extrae el aceite para producirlo.

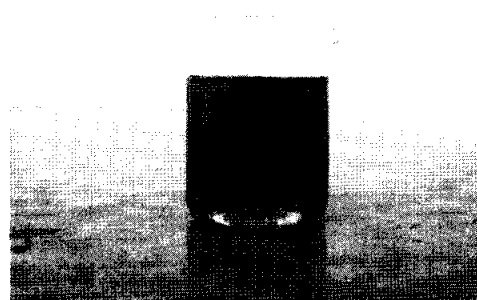
El tempate es un arbusto que crece en diversos lugares: orilla de carreteras, barrancos, tierras marginales, suelos erosionados e infértiles. Esta especie es apta para crecer y desarrollarse en condiciones desérticas o de extrema sequía.

No se necesita disponer de suelos fértiles para cultivar el tempate, por lo cual, no se utilizan terrenos destinados para la producción de alimentos. En este sentido, existe una gran ventaja porque el tempate no compite con los alimentos por el suelo. Por consiguiente no se genera un déficit alimentario.

En nuestro país existen suelos erosionados e infértiles, no aptos para cultivar alimentos, que deberían aprovecharse para sembrar tempate en vez que estén ociosos. Además, sería útil sembrarlo para reforestar el país, el cual está gravemente deforestado.

El uso del aceite de semillas de Tempate se justifica porque éste es un arbusto que no requiere de muchos cuidados para crecer y desarrollarse. Puede sembrarse en cualquier tipo de suelo hasta en los infértiles. Consume poca agua, le basta el agua de lluvia.

Por las características mencionadas anteriormente, el tempate constituye la mejor opción para la producción de aceite que se utilizaría en la fabricación del biodiesel.



Aceite de Tempate

## 2. Materiales y métodos.

### 2.1 Reactivos químicos y materia prima.

151.42 L de aceite de tempate.

30.28 L de metanol puro ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ).

0.98 Kg de hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ) en escamas.

10 mL de alcohol isopropílico puro.

1 mL de fenolftaleína pura.

1 mL de aceite de tempate para valorar.

1 L de solución de hidróxido de sodio 0.2 N.

### 2.2. Equipos y cristalería.

1 beaker de 100 mL.

1 embudo de separación de 1 L.

1 probeta de 10 mL.

1 bureta de 50 mL con pinza.

1 soporte universal con aro y pinza.

1 termómetro con escala de 0 a 110 °C.

1 caja de papel pH.

1 filtro con diámetro de poro de 200 micrones.

1 agitador magnético.

1 báscula con escala de 0.1 a 100 Kg.

1 medidor de dióxido de carbono.

1 procesador de biodiesel.

1 motor diesel.

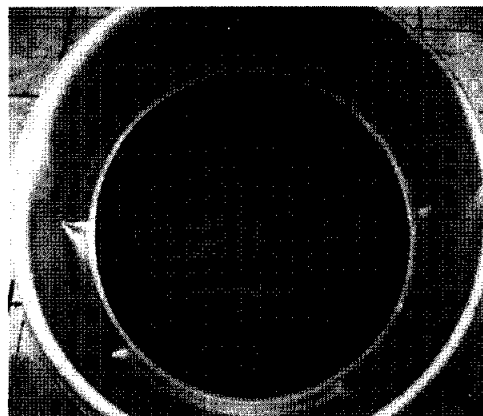
1 compresor de aire.

### 2.3 Valoración.

El objetivo de la valoración es determinar cuánto hidróxido de sodio debe utilizarse en el proceso. Se agregó en un beaker 10 mL de alcohol isopropílico, 1 mL de aceite de tempate y 3 gotas de fenolftaleína. El contenido del beaker se tituló con solución de hidróxido sódico 0.2N, el cual se agregó gota a gota hasta observar un color rosado tenue en la solución. Se determinó que se requiere 6.5 gramos de hidróxido de sodio por cada litro de aceite de tempate.

### 2.4 Filtrado del aceite.

Esta etapa se realizó debido a que el aceite trae residuos sólidos provenientes del proceso de extracción del aceite de la semilla. Se filtró el aceite de tempate, (151.42 L) utilizando un filtro de 200 micrones, colocado en la parte superior de un barril, en el cual, se recogió el aceite filtrado.

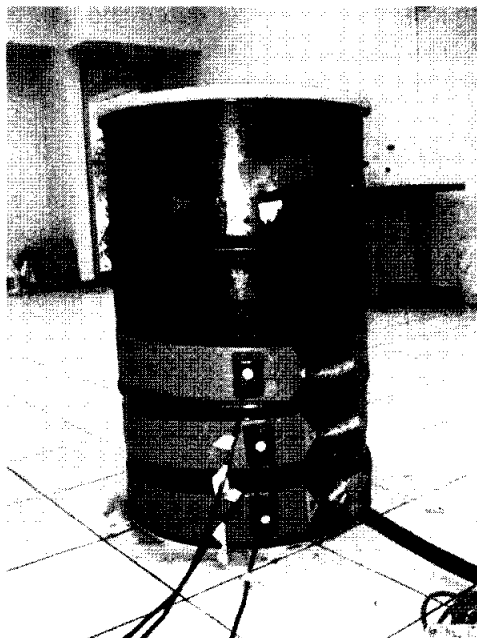


Se filtra el aceite de Tempate con un filtro de 200 micrones.



### 2.5 Deshumidificación del aceite.

Esta etapa tiene como objetivo eliminar la humedad y fluidificar el aceite, reduciendo su viscosidad. El aceite se calentó a una temperatura entre 95°C a 100°C durante una hora.



Barril con bandas térmicas para deshumidificar el aceite.

### 2.6 Preparación de metóxido.

Metóxido es el nombre que recibe la solución resultante de disolver el hidróxido de sodio sólido en el metanol.

En la valoración se determinó que se requieren 6.5 gramos de hidróxido de sodio por cada litro de aceite. La cantidad de hidróxido de sodio necesario se calculó de la siguiente manera:

$$\frac{6.5 \text{ g NaOH}}{1 \text{ L aceite}} \times 151.42 \text{ L aceite} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}$$

$$= 0.98 \text{ kg NaOH}$$

La cantidad de metanol puro utilizado es el 20% del volumen de aceite. El cálculo se muestra a continuación:

$$151.42 \text{ L aceite} \times 0.2 = 30.28 \text{ L metanol}$$

Se disolvió el hidróxido de sodio (0.98 Kg), en el metanol puro (30.28 L), utilizando agitación constante. La agitación se mantiene hasta que se disuelva completamente el sólido. No es necesario el calentamiento porque la disolución del hidróxido de sodio es una reacción exotérmica, es decir, que se genera calor.

En el cuadro 1 se muestra el resumen de las cantidades de reactivos utilizados en el proceso.

**Cuadro 1. Cantidades de reactivos utilizados.**

Reactivos	Cantidad
Aceite de Tempate	151.42 L
Metanol	30.28 L
Hidróxido de sodio	0.98 Kg

La cantidad de metanol utilizado es el doble del requerido estequiométricamente, para asegurar que la reacción sea completa (Van Gerpen et al, 2004).

### 2.7 Transesterificación.

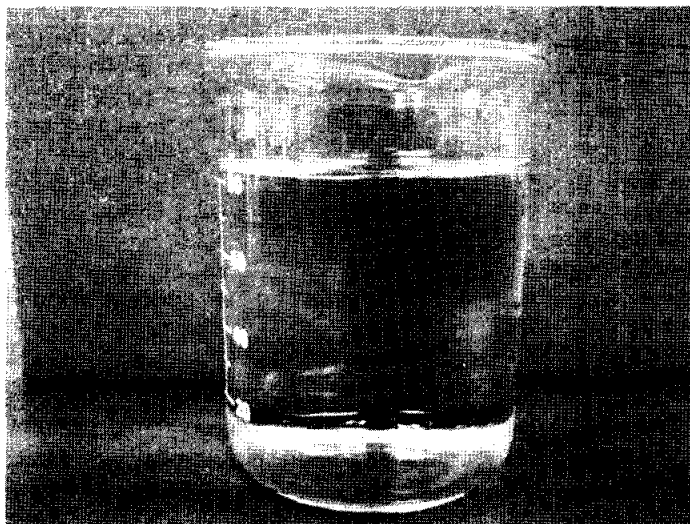
Previamente el aceite se calentó hasta 50°C. Se agregó el metóxido al aceite caliente. Este proceso se realiza a una temperatura entre 50°C a 55°C, durante una hora, con agitación constante.

### 2.8 Separación de la glicerina y el biodiesel.

El biodiesel y la glicerina son inmiscibles y tienen diferentes densidades, por lo que se dejan reposar durante 8 horas para que se separen formando 2 capas. La capa de biodiesel se ubica en la parte superior y la glicerina se deposita en la parte inferior. Se abre la válvula situada en el fondo cónico del reactor para evacuar la glicerina hacia un depósito. El biodiesel permanece en el reactor para lavarlo posteriormente.



Hidróxido de sodio (catalizador alcalino)



Metanol o alcohol metílico.



El biodiesel se ubica en la capa superior y la glicerina en la capa inferior.

### 2.9 Prueba de calidad.

Al biodiesel producido se le hizo la prueba de calidad o de miscibilidad. Esta prueba consiste en mezclar 50 mL de biodiesel con 50 mL de agua. Se debe agitar vigorosamente la mezcla durante 1 minuto y dejar en reposo durante 10 minutos posteriores. Si el biodiesel es de buena calidad se deben formar 2 capas, quedando en la capa superior el biodiesel y en la capa inferior el agua. En esta prueba se comprobó que el biodiesel producido es de buena calidad.

### 2.10 Lavado del biodiesel.

El lavado del biodiesel se hace para eliminar el metanol, hidróxido de sodio y glicerina remanentes. Se agrega un volumen de agua equivalente al 20% del

volumen de biodiesel, y la mezcla de ambos se agita vigorosamente durante 10 minutos, al detener la agitación permite la separación de las capas durante el tiempo que sea necesario.

En la capa superior queda el biodiesel y en la inferior el agua. Se drena el agua sucia y se repite el proceso varias veces hasta que el agua de lavado salga cristalina. También se comprueba el pH del agua de lavado, cuando es igual a 7.0, es entonces que el biodiesel está totalmente limpio.



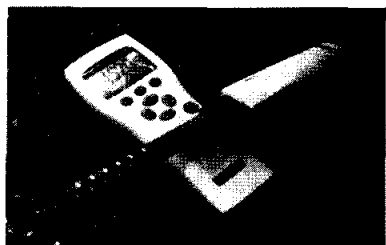
Biodiesel

### 2.11 Secado del biodiesel.

Se calentó el biodiesel a una temperatura entre 95°C a 100 °C, durante 1 hora, para eliminar la humedad que retuvo durante el lavado.

### 2.12 Medición de la concentración de dióxido de carbono.

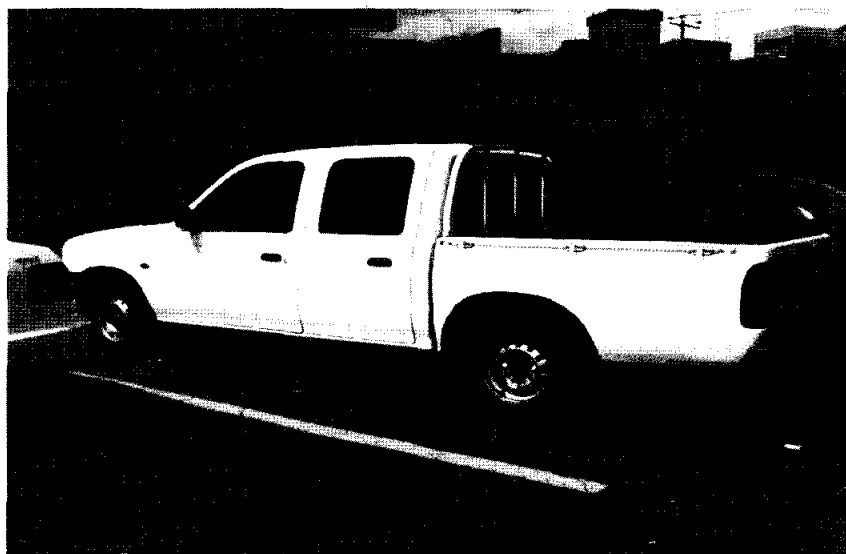
Se midió la concentración de dióxido de carbono en las emisiones de un motor utilizando biodiesel. Además, se hizo lo mismo con diesel para usarlo como parámetro de comparación.



Aparato para medir la concentración de dióxido de carbono.

Las pruebas se realizaron en un vehículo pick up con motor de tipo diesel, modelo 2002. Se activó el motor del vehículo conteniendo diesel en el tanque de combustible. Con el equipo medidor de dióxido de carbono, colocado en el escape, se midió la concentración del gas en partes por millón.

Después que se consumió el diesel se puso biodiesel al tanque de combustible. Se activó el motor y se midió la concentración de dióxido de carbono, en partes por millón.



Pick up con motor de tipo diesel, en el cual se realizaron los experimentos.

### 2.13 Variables de operación.

En el cuadro 2 se muestra el resumen de los valores óptimos de las variables de operación tiempo y temperatura, las cuales, deben ser controladas durante las diferentes etapas del proceso de producción de biodiesel.

**Cuadro 2. Variables de operación en la producción de biodiesel.**

Operación	Rango de temperatura (°C)	Tiempo (horas)
Deshumidificación de aceite	95 - 100	1
Transesterificación	50 - 55	1
Secado del biodiesel.	95-100	1

En la figura 2 se muestra el diagrama de bloques del proceso de producción de biodiesel descrito anteriormente.

### 3.3 Rendimiento de motor.

Las emisiones de dióxido de carbono, son inversamente proporcionales al rendimiento del motor, (Diario Oficial, 04-06-03). Esto significa que a menor concentración de dióxido de carbono, se tiene un mayor rendimiento del motor y a mayor concentración se tiene un menor rendimiento.

Se observa en los cuadros 3 y 4, que se obtuvo una menor concentración de dióxido de carbono cuando se utilizó biodiesel. Por el contrario, cuando se utilizó diesel se obtuvo una mayor concentración de dióxido de carbono.

### 4. Conclusiones.

Se desarrolló un proceso de producción de biodiesel a partir de aceite de Tempate, lo cual se logró por medio del método experimental, optimizando las variables involucradas en el proceso. El rendimiento del 95% obtenido en la producción de biodiesel, es un valor alto de acuerdo a la bibliografía consultada.

Dado que la concentración de dióxido de carbono producto de la combustión de biodiesel es menor que la correspondiente a la combustión del diesel, se concluye que el uso de biodiesel reduce el calentamiento global.

Es factible sustituir el diesel por biodiesel. Los resultados indican que al usar biodiesel se obtiene un mayor rendimiento en los motores de los vehículos y se protege el medio ambiente, por la menor cantidad de dióxido de carbono.

### 5. Bibliografía

**Biocombustibles y desarrollo sostenible.** Recuperado el 01 de julio de 2011, de: <http://es.journeytoforever.org/biocombustibles/como-hacer-biodiesel.cgi>

**El Salvador. Norma Salvadoreña Obligatoria para las Emisiones Atmosféricas de Fuentes Móviles,** NSO: 13.11.03: 01. Diario Oficial, tomo N° 360, 4 de junio de 2003.

Machuca, L. (2007). **Desarrollo de Biodiesel en El Salvador.** El Salvador. Universidad Centroamericana José Simeón Cañas.

Van Gerpen, J.; Shanks, B.; Pruszko, R. (2004). **Biodiesel Production Technology.** U.S.A.: National Renewable Energy Laboratory.

Van Gerpen, J.; Shanks, B.; Pruszko, R. (2004). **Biodiesel Analytical Methods.** U.S.A.: National Renewable Energy Laboratory.