



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN
MATERIALES AVANZADOS, S. C.**

POSGRADO

**Caracterización de aceite de higuera
(*Ricinus communis*) de dos variedades
silvestres para la producción de
biodiesel en la región del Valle de
Mezquital, Hidalgo**

**Tesis que como requisito para obtener el grado de
Maestría en Ciencias en Energías Renovables con
Especialidad en Biomasa**

Presentan:

**María Félix Cornejo Martínez
Obdulia Estrada Urbano**

**Dr. Guillermo González Sánchez
Director de tesis**

Chihuahua, Chih., Noviembre, 2012

AGRADECIMIENTOS

A todas aquellas personas que participaron con entusiasmo y dedicación en la elaboración de este trabajo.

A la Universidad Tecnológica del Valle del Mezquital y en especial al programa educativo de Procesos Alimentarios, por darme oportunidad de alcanzar esta meta profesional.

A Dios por darme la vida y por otorgarme a una gran guerrera como madre: Catalina Urbano Reyes, un hijo Luis Ángel, mi mayor felicidad y un hermano, alguien con quien contar y compartir..... gracias, por estos tesoros invaluable que me dan el valor necesario para seguir luchando en la vida.

A nuestros sinodales por sus sugerencias, revisiones y aportaciones a la presente tesis.

A una gran amiga que compartió y comparte conmigo alegrías y tristezas, triunfos y fracasos; ahora eres parte de mi corazón MaFe. Gracias, Dios te bendiga siempre.

Caracterización de dos variedades de aceite de higuera silvestre, para
producción de biodiesel en el Valle del Mezquital.

Contenido	Pág.
1. Introducción.....	5
2. Antecedentes.....	7
2.1 Energía.....	7
2.1.2 Energías no renovables.....	7
2.1.3 Energías renovables	8
2.2 Biodiesel.....	11
2.2.1 Características y propiedades del biodiesel.....	13
2.2.2 Reacción de transesterificación	13
2.2.3 Producción de biodiesel	15
2.2.4 Métodos catalíticos de producción de biodiesel	16
2.3. Variables que afectan la reacción de transesterificación	18
2.4 Plantas oleaginosas para biocombustibles o cultivos energéticos.	22
2.3.1 Soya.....	23
2.3.2 Cártamo	24
2.3.3 Canola	26
2.3.4 Girasol.....	28
2.3.5 Jatropha	29
2.3.6 Higuera (Ricinus communis).....	30
2.4 ¿Que son los lípidos?	32
2.4.1 Importancia de las grasas y los aceites	33
2.4.2 Clasificación de los lípidos	33
2.6 Métodos de extracción de aceites.....	36

Caracterización de dos variedades de aceite de higuera silvestre, para
producción de biodiesel en el Valle del Mezquital.

2.6.1 Método químico	37
2.6.2 Método físico	38
3. Justificación	38
4. Hipótesis.....	39
5. Objetivos.....	39
5.1 Objetivo general.....	39
5.2 Objetivos específicos	40
6. Metodología	40
6.1 Caracterización de la zona de colecta de materia prima	40
6.2 Identificación y colecta de materia prima.....	42
6.3 Tratamiento de la materia prima	44
6.4 caracterización de la semilla de higuera (<i>Ricinus Communis</i>).....	45
6.5 Extracción de aceites	50
6.6 Caracterización del aceite de higuera.	52
6. Resultados y discusión	53
6.1 Obtención de aceite de semilla de higuera.....	53
6.2 Caracterización fisicoquímica del aceite de higuera.	56
6.3 Caracterización de materia prima y del aceite obtenido por extracción química- mecánica utilizando etanol y una prensa mecánica	57
6.4 Reacción de transesterificación de aceite de higuera vía catálisis alcalina usando NaOH.....	58
7. Conclusiones Parciales.....	61
8. Recomendaciones	61
8. Bibliografía	62
9. Anexos.....	66

1. Introducción

Desde hace años el hombre ha sido la causa de múltiples hechos y acontecimientos que han pasado a la historia, unos quizás desapercibidos e ignorados, otros con un gran reconocimiento, dado por el desarrollo tecnológico que trajo consigo su descubrimiento o invención, de ellos se puede mencionar el descubrimiento del fuego y su utilidad. Siendo este base importante de todo proceso químico-biológico. Considerando que por efecto del calor se efectúan diversos fenómenos como lo son el ciclo del agua, que gracias a él se efectúa una serie de acontecimientos para llegar al resultado de la obtención de energía eléctrica; otro suceso muy importante tiene lugar en la conversión de energía calorífica y solar en energía química proceso al cual se llama fotosíntesis, factor importante para la subsistencia de las plantas, así como los animales.

Todo lo anterior es un ciclo o cadena, que si llegase a faltar un eslabón de ella, el ciclo no se cumple y todo el proceso entraría en un periodo de desequilibrio ecológico.

Al paso de los años el hombre ha ido consumiendo las fuentes energías no renovables, una de ellas, los bancos de combustibles fósiles que tardaron miles de años en formarse, causando así su agotamiento y elevados costos de producción y consumo. Derivado de ello surge la necesidad de implementar

Caracterización de dos variedades de aceite de higuera silvestre, para producción de biodiesel en el Valle del Mezquital.

nuevas alternativas sustentables para la obtención de energía, dentro de las que cabe mencionar: el aprovechamiento de la energía eólica con el establecimiento de los campos eólicos, la implementación de celdas solares, el aprovechamiento de fuentes geotérmicas e hidráulicas como energía, así mismo la obtención de bioenergía a través de la biomasa como la elaboración de biodigestores y aprovechamiento de rellenos sanitarios para la generación de biogás, la utilización de desechos industriales y agrícolas para la generación de bioetanol, así como el empleo de organismos vivos para la generación de hidrógeno y la implementación de cultivos alternativos actualmente llamados energéticos dentro de los cuales podemos mencionar la higuera, soya, olivo, canola, jatropha, entre otros.

La obtención de aceites se ha registrado desde tiempos inmemorables; los métodos de extracción de aceites que se tiene registrados son: extracción mecánica, extracción por solventes, una vez obtenidos los aceites se les da diferentes tipos de usos, que va desde el religiosos, pasando por el alimenticio y concluyendo con el usos industrial en fabricación de cosméticos, fabricación de plásticos y empleado en la extracción y fabricación de hidrocarburos, es el caso del llamado biodiesel que por medio de una reacción de transesterificación es obtenido, de fácil elaboración, se puede realizar no solo con aceites de origen vegetal sino también todo tipo de aceites usados así como diferentes tipos de grasas animales.

Las regiones de México tienen un clima de grandes bondades ya que nos permiten tener una gran diversidad de vegetación desde cultivos hasta plantas silvestres que podemos aprovechar de manera racional, tal es el caso de la higuera de la cual se extrae el aceite para la producción de biodiesel.

2. Antecedentes

2.1 Energía

De definición física abstracta, la energía ha llegado a convertirse en una magnitud indicativa de primer orden, verdadera moneda universal que cuantifica el grado de desarrollo tecnológico y capacidad económica de los pueblos.

En el siglo pasado los beneficios sociales derivados del uso de la energía superaron cualquier objeción planteada por el impacto o repercusión en el medio ambiente que dicho uso suponía. No así en las últimas décadas, en especial en los últimos quince años, en los que surge en toda su magnitud el angustioso problema de la contaminación y degeneración ambiental causado por una utilización inadecuada e incontrolada de la energía (Focer, 2011).

Ejemplo muy significativo es la contaminación del aire la cual es un asunto de salud pública a escala micro, media y macro. Las fuentes industriales y móviles contribuyen a la contaminación atmosférica en media escala, ya que ensucian el aire circundante a la intemperie. Entre los efectos a gran escala o global esta el transporte de contaminantes del aire del ambiente a gran distancia por ejemplo: la lluvia acida y la contaminación por ozono.

Entre las fuentes antropogénicas están los vehículos de motor, la quema de combustibles fósiles para la generación de electricidad y calor, los procesos industriales, la disposición de desechos sólidos y la combustión de diversos objetos como hojas y maleza. Se liberan 600 a 1250 Tg de CO por la combustión incompleta del carbono orgánico de esas fuentes. Los vehículos de motor causan más del 60% de la emisión. (Mackenzie et. Al; 2005).

2.1.2 Energías no renovables

Las fuentes irrenovables de energía como carbón, petróleo y gas llegaron al Triángulo de las Bermudas desde el punto de vista, disminución de reservas, alta demanda y destrucción del medio ambiente.

La energía nuclear falla al no tener soluciones para los desechos radiactivos. El potencial de peligro es tan alto, que solo el ser humano perfecto puede controlarlo. Y este ser humano no existe. La fuerza principal para el desarrollo de vida en este mundo en los 4500 millones años pasados era la energía del sol. Una pequeña parte de esa energía llegó en millones de años a capas de piedras profundas, donde formó un almacén de energía gigante en forma de carbón, petróleo y gas.

Los seres humanos en el tiempo de industrialización, aprendieron usar este almacén de energía para la producción de artículos. De esta manera se liberaron de la cadena de solo estar contento con la energía solar, cual nos manda el sol diariamente. Para la civilización se abrieron nuevas posibilidades, pero solo con el alto precio de dejarse a una fuente de energía agotable. Según estudios científicos, las reservas para petróleo alcanzan para aproximadamente 40 años más, para gas 60 años más y para el carbón unos 120 años más. Estos son datos según estimaciones del consumo actual.

Estas fuentes de energía irrenovable limitado nos enseñan, que no podemos seguir de la misma manera, cuando queremos dejar una reserva de emergencia para nuestros hijos.

2.1.3 Energías renovables

Se llama energía renovable la que puede aprovecharse ilimitadamente, es decir, su cantidad disponible (en la tierra) no disminuye a medida que se aprovecha. Como se sabe la principal fuente de energía renovable es el sol. (Guillen 2004). El aprovechamiento de las energías renovables no es nuevo, no ha surgido con los últimos avances propiciados por el silicio o los modernos materiales. Hace mucho que aprendimos a utilizar los rayos del sol para fines diferentes a los climatológicos (en el siglo II A.C. Arquímedes consiguió ya quemar las naves romanas que asediaban su pueblo mediante espejos) y aprovechar los vientos generados como consecuencia de las variaciones de temperatura para mover las aspas de los molinos (Perales 2006).

2.1.3.1 Energía eólica

Está basada en los desplazamientos de masa de aire como consecuencia de las diferencias de presión causadas por las alteraciones de temperatura. Su aprovechamiento para obtener energía requiere de un proceso indirecto de conversión, a diferencia del directo que se produce en la energía fotovoltaica. Sus instalaciones de aprovechamiento de esta energía adoptan dos configuraciones muy diferentes: los denominados parques eólicos, empleados para producir grandes cantidades de energía eléctrica con destino a las redes públicas de distribución y las medianas y pequeñas instalaciones para bombeo de agua o suministro energético para viviendas, granjas o similares, como sistema generador único o complemento a la energía obtenida mediante paneles fotovoltaicos en las instalaciones de nominadas híbridas. (Perales 2006).

La primera referencia histórica al aprovechamiento del viento para accionar máquinas son molinos de eje vertical que aparecen en obras geográficas del siglo V a.C. Se citan estos artefactos en la región de Sijistan, situado entre lo que hoy es Irán y Afganistán, donde sopla un viento muy constante llamado de los 120 días (Guillén 2004).

2.1.3.2 Energía geotérmica

El planeta tierra guarda una incalculable cantidad de energía en su interior. Un volcán, un geiser o los temblores en tierra y mar son muestra de ello. La energía geotérmica consiste en extraer calor del magma incandescente de la tierra mediante el agua que se encuentra en las profundidades del planeta calentada por dicho magma y sube a la superficie en forma de vapor. Es posible generar electricidad en las plantas llamadas geotérmicas mediante procesos térmicos (Guillén 2004).

2.1.3.3 Energía fotovoltaica o solar

Corresponde a un sistema directo de conversión, ya que los fotones de la radiación solar interactúan de modo directo sobre los electrones del captador fotovoltaico para dar lugar al efecto fotoeléctrico y, con él, a la generación de corriente eléctrica (Perales 2006).

Es posible obtener electricidad mediante dispositivos especiales llamados "Paneles Fotovoltaicos" que transforman la energía solar en electricidad de modo directo, es decir, sin transformaciones intermedias en otras formas de energías. De lo anterior puede decirse que las células solares o celdas fotovoltaicas son dispositivos capaces de transformar la radiación solar en electricidad de un modo directo (Guillén 2004).

2.1.3.4 Energía marítima

Los mares y los océanos son inmensos colectores solares de los cuales se puede extraer energía de orígenes diversos.

Se estima las siguientes posibilidades de uso de la energía existente en los océanos:

- La radiación solar incide sobre los océanos en determinadas condiciones atmosféricas crea los gradientes térmicos oceánicos (diferencia de temperaturas) a bajas latitudes y profundidades menores de 1000m.
- La interacción de los vientos y las aguas es responsable del oleaje y las corrientes marinas.
- La influencia gravitacional de los cuerpos celestes sobre las masas oceánicas provoca mareas (Guillén 2004).

2.1.3.4 Energía de biomasa.

La fotosíntesis es la manera más antigua de aprovechamiento de la energía solar, inventada por la naturaleza misma. Mediante este mecanismo las plantas elaboran su propio alimento y el de otros seres vivientes en las cadenas alimenticias (Guillén 2004).

El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía; o las provenientes de la agricultura (residuos de maíz, café, arroz, etc.), del aserradero (podas, ramas, aserrín, cortezas) y de los residuos urbanos (aguas negras, basura

orgánica y otros). Esta es la fuente de energía renovable más antigua conocida por el ser humano, pues ha sido usada desde que nuestros ancestros descubrieron el secreto del fuego (manual de biomasa).

La biomasa producida se cultiva para obtener biomasa transformable en combustible en vez de producir alimentos, como la caña de azúcar en Brasil, orientada a la producción de etanol, para carburante o la colza en España para producir biodiesel.

Desde el punto de vista energético la biomasa se puede aprovechar de dos maneras: quemándola para producir calor o transformándola en combustible para su mejor transporte y almacenamiento (Guillén 2004).

2.2 Biodiesel

El biodiesel es un biocombustible líquido que se obtiene a partir de lípidos naturales como aceites vegetales o grasas animales; limpios o usados, mediante procesos industriales de transesterificación (Petróleo, 2009).

La demanda creciente de combustibles ha sido un desafío para los científicos de hoy. Los recursos de combustible fósiles están menguando día a día. El Biodiesel parece ser una solución para el futuro. Biodiesel es un combustible viable para el medio ambiente (Sharma *et. al.*, 2008).

El biodiesel es un combustible que se obtiene por la reacción de transesterificación de un triglicérido con un alcohol, típicamente metanol o etanol, utilizando hidróxido de sodio como catalizador (Sharma *et. al.*, 2008).

El biodiesel está actualmente ganando importancia cada vez más como un combustible viable debido a que los recursos fósiles se están agotando. Químicamente el biodiesel es producido por los ácidos grasos presentes en las moléculas de triglicéridos derivados de la obtención de grasa de diversas verduras y grasa animal. Se produce por el mecanismo de transesterificación lo que significa que el glicerol contenido en los aceites es sustituido por un alcohol ante la presencia de un catalizador. El proceso de transesterificación es afectado por el modo de condición de la reacción, proporción molar de alcohol, tipo del alcohol,

Caracterización de dos variedades de aceite de higuierilla silvestre, para producción de biodiesel en el Valle del Mezquital.

tipo y cantidad de catalizador, tiempo de la reacción, temperatura y pureza de reactantes (Meher *et. al.*, 2004).

Actualmente, la mayoría del biodiesel se produce a partir de los aceites de tipo de refinado. Normalmente se usa metanol y un catalizador alcalino. Sin embargo, se suelen utilizar ácidos grasos de cadena larga aunque en ellos se deben de tener una baja proporción de ácidos grasos libres para evitar que se neutralicen con el catalizador alcalino y se formen también jabones. Estos ácidos grasos libres reaccionan rápidamente con el catalizador alcalino para producir jabones que inhiben la separación del éster y glicerina. Un proceso de transesterificación de dos pasos se desarrolla para convertir los ácidos grasos libres en sus mono-esteres. El primer paso, el ácido cataliza la esterificación reduce los ácidos grasos presentes en el aceite a menos de 2%. El segundo paso, en la transesterificación llevada a cabo con un catalizador alcalino son convertidos en un primer paso a sus mono-esteres y en glicerol. Los factores que más afectan la eficacia de la conversión del proceso son la proporción molar, la cantidad de catalizador, la temperatura de la reacción y la duración de la reacción. El procedimiento de transesterificación de dos-pasos convierte el aceite de semilla de caucho a sus esterres de metilo. La viscosidad del aceite del biodiesel está más cercana al valor de viscosidad de diesel y el valor calorífico es aproximadamente 14% menor que el de diesel. Las propiedades importantes de biodiesel como la gravedad específica, el punto de llamarada, punto de la nube y punto de la lluvia se averiguan y compararon con la de diesel (Ramadhas y *et. al.*, 2004).

Tabla 1.- Principales productores de biodiesel en el continente europeo.

País	Producción (Ton/año 2011)
Austria	560 000
Bélgica	710 000
Bulgaria	348 000
Chipre	20 000
República Checa	427 000
Dinamarca	427 000
Estonia	135 000
Finlandia *	340 000

Caracterización de dos variedades de aceite de higuera silvestre, para producción de biodiesel en el Valle del Mezquital.

Francia	2505 000
Alemania	4932 000
Grecia	802000
Hungría	158000
Italia *	2265
Los Países Bajos	1452
España	4410 000
Otros países	1576789
Total	22117

European, Biodiesel, Board, 2012

2.2.1 Características y propiedades del biodiesel

El combustible de Biodiesel tiene el beneficio de ser no-tóxico, biodegradable y esencialmente libre del azufre. Diversas investigaciones se han realizado sobre el aceite de la palma, el aceite de la soja, aceite de coco, pues poseen ácidos grasos capaces de ser transformados en biodiesel (Barajas, 2005).

No existe mucha información acerca de biodiesel obtenido de aceite de ricino (higuera). El biodiesel obtenido de la soja se usa predominantemente en los Estados Unidos, mientras el biodiesel obtenido del aceite de canola lo es en Europa. Aunque el biodiesel tiene muchas ventajas en el medio ambiente también tiene algunas desventajas en su uso. A bajas temperaturas el biodiesel normalmente es peor que el diesel de petróleo. A temperaturas bajas el biodiesel crea cristales que pueden restringir el flujo de combustible de un vehículo que estorba el combustible línea y los filtros. El biodiesel obtenido de aceite de ricino exhibe diferentes condiciones de operación (Barajas, 2005).

2.2.2 Reacción de transesterificación

La condensación catalizada por ácido de un alcohol y un ácido carboxílico conduce a un éster y agua y se conoce como la **esterificación de Fisher**.

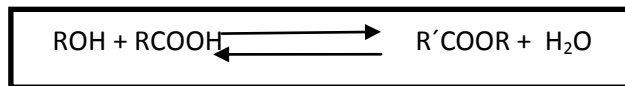


Figura1. Reacción general de transestrificación

Fuente: Carey, 1999

La esterificación de Fisher es reversible, y la posición de equilibrio tiende ligeramente hacia el lado de los productos cuando los reactivos son alcoholes y ácidos carboxílicos simples. Cuando se utiliza la esterificación de Fisher con fines preparativos, la posición de equilibrio puede hacerse más favorable usando el alcohol o el ácido carboxílico en exceso (Carey, 1999).

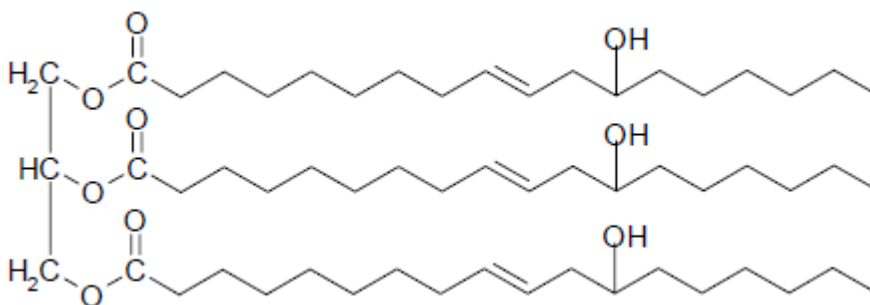


Figura 2. Triglicéridos del aceite de ricino.

En la figura anterior se muestra el triglicérido del aceite de ricino.

El aceite de ricino posee una composición química peculiar, debido al alto contenido (87-97%) de ácido ricinoleico (ácido cis-12-hidroxi octadeca-9-enoico) (ver figura anterior). La presencia del grupo hidroxilo provee de características únicas tanto al aceite de ricino como a sus derivados: polaridad, alta viscosidad y gravedad específica, además de permitir su completa solubilidad en alcoholes

(García-Cota *et. al.*, 2009).

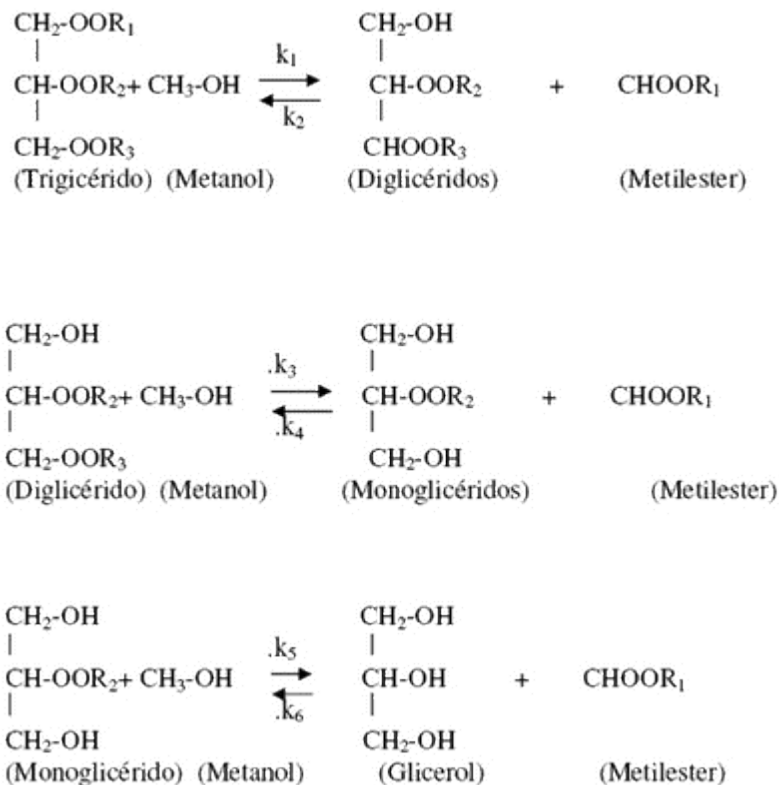


Figura 3. Reacción de Transesterificación (Demirbas, 2008).

2.2.3 Producción de biodiesel

La producción de biodiesel es un tema muy moderno para diversos investigadores y que esta ganado importancia todos los días, esto por el constante incremento al precio del petróleo y las ventajas medio ambientales que pueden dar. Se han llevado a cabo diversos estudios para producir biodiesel a partir de diversos aceites a través de diferentes proporciones de materia prima tales como alcohol (metanol, etanol, butanol), así como diferentes catalizadores (hidróxido de sodio, hidróxido de potasio, ácido sulfúrico) (Marchetti et.al 2005)

La utilización de aceites vegetales como combustibles data de 1900, cuando *Rudolph Diesel* lo utilizó por primera vez en su motor de ignición. Sin embargo, fue

en el año 1970 cuando el biodiesel se desarrolló de forma significativa, a raíz de la crisis energética y el elevado costo del petróleo.

Las primeras pruebas técnicas con este combustible vegetal se realizaron en 1982 en Austria y Alemania, aunque fue en 1985, en Silberberg (Austria), donde se construyó la primera planta piloto productora de biodiesel a partir de las semillas de colza o canola. Alemania, Austria, Canadá, Estados Unidos, Francia, Italia, Malasia y Suecia son pioneros en la producción, ensayo y uso de biodiesel en automóviles.

El biodiesel es un combustible líquido muy similar en propiedades al aceite diesel, pero que se obtiene a partir de productos renovables, como aceites vegetales, soya, canola, maní, ricino, y las grasas animales. (Collymore et.al 2008)

2.2.4 Métodos catalíticos de producción de biodiesel

La reacción de transesterificación puede ser catalizada por bases, ácidos o enzimas. Los triglicéridos son ésteres de cadenas largas, ácidos carboxílicos combinados con glicerol. Los ácidos carboxílicos $\{R-C(=O)-O-H\}$ pueden ser convertidos dentro de los metil ésteres $\{R-C(=O)-O-CH_3\}$ por la acción de un agente de transesterificación.

Las bases pueden catalizar la reacción quitando un protón del alcohol, haciéndolo más reactivo, mientras que los ácidos pueden catalizar la reacción, por donación de un protón para el grupo carbonilo, haciéndolo más reactivo.

2.2.4.1 Transesterificación con catalizador ácido

El proceso de transesterificación es catalizado por ácidos Brønsted, preferentemente por ácido sulfónico o sulfúrico. Estos catalizadores dan una muy alta producción de ésteres alquílicos, pero las reacciones son lentas en comparación con catalizadores alcalinos. La transesterificación catalizada por un

ácido es más conveniente para ácidos o grasas que tienen altas cantidades de ácidos grasos libres y humedad. Aksoy reportó que es necesario llevar a cabo la transesterificación bajo una condición ácida cuando el componente del aceite fuese de un material de menor grado como el aceite de oliva (Demirbas, 2008).

2.2.4.2 Transesterificación con catalizador alcalino

En el método de transesterificación con metanol vía alcalina, el catalizador (KOH o NaOH) es disuelto en el alcohol en un pequeño reactor. El aceite es transferido al reactor de biodiesel y después la mezcla catalizador/alcohol. La mezcla se agitada a 60 °C de temperatura y una presión ambiente. Una reacción de transesterificación exitosa produce dos fases líquidas: éster y glicerina cruda (Fukuda y et. al. 2001)

La glicerina cruda se recolecta en un contenedor después de algunas horas de sedimentación. La separación de la fase puede ser observada en 10 minutos y completarse en 2 horas aunque la sedimentación puede tomar hasta 20 horas. Después de que la sedimentación finaliza, se agrega agua para lavar el éster (Uribe, 2010).

2.2.4.3 Transesterificación enzimática

En la transesterificación química usando un catalizador alcalino o ácido el proceso da un alto nivel de conversión de triglicéridos a sus correspondientes metil ésteres en cortos tiempos de reacción, pero la reacción tiene varias desventajas: utiliza gran cantidad de energía, la recuperación de glicerol es difícil, el catalizador ácido o alcalino tiene que separarse del producto, el residuo de agua alcalina requiere de tratamiento, los ácidos grasos libres y el agua interfieren con la reacción.

Otra alternativa de catálisis es el empleo de enzimas denominadas lipasas. Algunas de las lipasas más utilizadas en numerosos estudios de producción de biodiesel son la *Candida*, *Penicillium* y las *Pseudomonas*.

La transesterificación enzimática de aceites refinados o de desecho, es insensible al contenido de agua y ácidos grasos libres, requiere menos etapas, consume

Caracterización de dos variedades de aceite de higuera silvestre, para producción de biodiesel en el Valle del Mezquital.

menos energía y genera menos agua de desecho (Fjerbaek y et. al., 2009) como se muestra en la Tabla 5. Particularmente, en este debe ser notado que el subproducto, glicerol, puede ser fácilmente removido sin ningún proceso complejo, y que también los ácidos grasos libres contenidos en el residuo del aceite y las grasas pueden completamente convertirse a metil ésteres.

Por otra parte, el costo de producción de un catalizador enzimático es regularmente mayor que el de uno alcalino (Fjerbaek, 2009).

Tabla 2. Comparación entre un catalizador alcalino y enzimático para la producción de biodiesel

Características a evaluar	Proceso con catalizador alcalino	Proceso con catalizador enzimático
Temperatura de reacción	60-70 °C	30-40°C
Ácidos grasos libres en materiales crudos	Productos saponificados	Métil ésteres
Agua en materiales crudos	Interfiere con la reacción	No influye
Producción de metil ésteres	Normal	Alto
Recuperación de glicerol	Difícil	Fácil
Purificación de metil ésteres	Repetir lavado	Ningún lavado
Costo de producción del catalizador	Barato	Relativamente caro

Fuente: INIA, 2010

2.3. Variables que afectan la reacción de transesterificación

Los parámetros que afectan la reacción de transesterificación se pueden dividir en dos:

- 1) Las condiciones de reacción, y
- 2) Las características del aceite.

La transesterificación de aceites vegetales depende de las condiciones de reacción utilizadas en el proceso, tales como: temperatura y tiempo de reacción, concentración molar alcohol:aceite vegetal, tipo de alcohol, tipo y concentración de catalizador, tiempo de reacción y contenido de ácidos grasos libres y humedad.

Temperatura de reacción

La alcoholólisis ocurre a variadas temperaturas dependiendo del aceite y alcohol empleado. Aunque al incrementar la temperatura el rendimiento aumenta y el tiempo de reacción se reduce, se recomienda que la temperatura no exceda el punto de ebullición del alcohol, porque se vaporiza y forma burbujas que limitan la reacción en las interfases alcohol/aceite/biodiesel (Liu y *et.al.*,2008). Para el aceite de ricino la metanólisis con NaOH (0.35% peso de aceite) procede eficientemente entre 20°C y 35°C (Fangrui, 1999), para el aceite de soya entre 45°C y 60°C (NaOH 1% peso, 1 hora), (Meher y *et.al.* 2006,) y para el aceite de fritura a 95°C en catálisis ácida (sulfato férrico 2% peso, 4horas) (Wang y *et.al.* 2006).

Relación molar alcohol: aceite vegetal

En la alcoholólisis química se utilizan relaciones molares mayores a la estequiométrica (> 3:1), alimentando un exceso de alcohol. Sin embargo, esto puede generar problemas de separación de las fases, disminuye el rendimiento y aumenta los costos de producción (Meher y *et.al.*,2006). La relación molar óptima en catálisis básica es 6:1 (rendimientos > 93%) en la metanólisis de aceite de soya, girasol y algodón (Tomasevic y *et.al.*, 2003). En la alcoholólisis en dos etapas del aceite de tabaco se utilizó una relación molar de 18:1 en la 1ra. Etapa, y 6:1 en la 2da. (Veljkovic y *et.al.*, 2006), y para aceite de jatropha se empleó una relación

volumétrica de 0.28:1 en la 1ra. etapa, y de 0.16:1 en la 2da.. Esto indica que la catálisis ácida requiere mayor relación molar que la catálisis básica.

Tipo de alcohol

Comercialmente el metanol es el alcohol más utilizado, aunque se pueden utilizar otros como: etanol, propanol, isopropanol, butanol, isobutanol, pentanol e isopentanol (Lang, 2001). La selección del alcohol depende de los costos, del desempeño en la etapa de separación, y que provenga de fuentes renovables (Sharma y Upadhyay, 2008). Se ha encontrado que durante la reacción se forma una emulsión que desaparece formando dos fases líquidas cuando se utiliza metanol, pero dicha emulsión permanece al emplear etanol, evitando la separación y purificación de las fases (Meher y *et.al.*, 2006). Esto se puede evitar evaporando el alcohol al terminar la reacción. Se ha reportado que la etanolisis mejora cuando se utiliza NaOH, debido a que se incrementa la solubilidad del alcohol en el aceite (Cerveró y Luque, 2008).

El contenido de ácidos grasos libres y la humedad son parámetros fundamentales para determinar la viabilidad del proceso de transesterificación de aceites vegetales. Para llevar la reacción catalizada a la terminación se necesita un valor de ácidos grasos inferior al 3%.

Tipo de catalizador

El tipo de catalizador depende de la naturaleza del aceite utilizado (contenido de AGL y humedad) y de su precio (Sharma y Upadhyay, 2008). Si el aceite tiene un alto contenido de AGL y humedad se recomienda emplear catalizadores ácidos, ya que la catálisis básica favorece las reacciones de saponificación (Freedman y *et.al.*, 1986). Sin embargo, los catalizadores básicos son los más utilizados en la industria por que se requieren temperaturas y relación molar alcohol: aceite bajas, tiempos cortos de reacción, y corroen menos los equipos y tuberías (Chalita y *et.al.*, 2007). Los catalizadores básicos más eficientes son los alcóxidos de sodio, pero por su elevado costo son industrialmente menos utilizados. El metóxido de sodio ha sido reportado como más eficaz que el hidróxido de sodio, porque una

pequeña cantidad del agua es producida sobre la mezcla NaOH y MeOH. Sin embargo, el hidróxido de sodio e hidróxido de potasio son también capaces de catalizar la transesterificación y debido a que son muy baratos, extensamente son usados en la industria de producción de biodiesel (Fukuda, 2001).

Concentración de catalizador

Este parámetro afecta el rendimiento hasta ciertos valores, ya que promueve la formación de sales (Meher y *et.al.*, 2006), la emulsificación de la mezcla y genera costos adicionales por su consumo. Se ha encontrado que los mayores rendimientos en la metanólisis de aceite de soya con KOH se obtienen a una concentración de 1% peso (relación molar de 6:1, 20 °C, 0.5 hora); mientras que con Ca (OCH₃) al 4% peso se alcanza un rendimiento del 98%, en 3 horas.

Tiempo de reacción

Se ha encontrado que el rendimiento aumenta con el tiempo de reacción. Se ha reportado que la conversión aumenta de 87.81% a 88.90%, con tiempos de reacción de 50 y 90 minutos, respectivamente, cuando se transesterifica aceite de ricino (catalizador al 0.5% peso, relación molar 3:1, a 63 °C). También se ha encontrado que se requiere menor tiempo de reacción cuando se emplea metanol en lugar de etanol, con similares condiciones de operación, ya sea en catálisis ácida o alcalina, para alcanzar el mismo rendimiento.

Contenido de AGL y humedad

Estos parámetros son fundamentales para determinar la viabilidad de la alcoholisis del aceite vegetal, dado a que altas concentraciones de uno de ellos o de los dos favorecen el proceso de saponificación. Se reporta que empleando aceites vegetales crudos se obtiene una conversión entre el 65% y el 84%, mientras que con aceites refinados, bajo las mismas condiciones, el rendimiento está entre 94% y 97%. Se ha encontrado que con H₂SO₄ (1,43% peso) se reduce el contenido de AGL del 14% al 1% en peso de aceite de jatrofa. En otro trabajo se redujo la

Caracterización de dos variedades de aceite de higuera silvestre, para producción de biodiesel en el Valle del Mezquital.

concentración de AGL en aceite de tabaco de 35% a menos del 2% empleando H₂SO₄ (1% y 2% peso). Por lo tanto, para obtener rendimientos altos el alcohol y catalizador deben ser anhidros (alcohol al 99%; NaOH o KOH al 99% de pureza), y el aceite se debe purificar o refinar para reducir el contenido de agua y AGL por debajo del 1% y 3%, respectivamente.

2.4 Plantas oleaginosas para biocombustibles o cultivos energéticos.

El biodiesel puede producirse a partir de una gran variedad de cultivos oleaginosos, de grasas animales y de aceites y de grasas recicladas. Entre algunas semillas que se emplean como insumo para la obtención de este biocombustible son: la semilla de colza, soya, jatropha, girasol y cártamo.

También se emplea sebo de animal y entre otros casos aceite reciclado. (SENER)

No menos importante se encuentra la plata heliófila cuyo nombre científico es de *Ricinus comunis*, mejor conocida comúnmente como higuera, la cual es una planta silvestre que crece a orillas de canales, canaletas, caminos rústicos y otros, es considerada como un maleza para los cultivos. No es exigente en sus requerimientos agro-climáticos, se adapta a suelos de baja fertilidad, tolera las sequias, es exigente en cuanto a la disponibilidad de la radiación solar.

Tabla 3. Porcentaje de ácidos grasos en aceites vegetales

Ácidos grasos	Palma	Jatropha	Frijol de Soya	Colza	Cártamo	Girasol
Ácido mirístico	1.0	<1.4	-	-	-	-
Ácido palmítico	44.3	10-17	10.5	11	11	4-9
Ácido esteárico	4.6	5-10	0.3	3	5	1-7
Ácido oleico	38.7	36-64	8.9	28	6	14-10
Ácido linoleico	10.5	18-45	79	68	78	48-74
Otros	0.9	-	0.12	-	-	-

Fuente: Cerveró, 2008

2.3.1 Soya

La soya se originó en Asia hace aproximadamente 5,000 años y ha jugado desde entonces un papel crucial en la alimentación de los pueblos orientales, tales como el chino y el japonés. Se cree que los primeros escritos sobre la soya relatan del 2838 antes de Cristo, en China con el emperador Shennung.

La soya llega a México a finales de los años 50's al valle yaqui en Sonora y destacaron hasta hace poco en su producción los estados de Sonora, Sinaloa y Chihuahua utilizando cultivo de riego y Tamaulipas y Chiapas usando el cultivo de temporal. A partir de la década de los 90's, se ha experimentado un decremento en la producción, en el noroeste del país por la escasez del agua y el ataque del mosquito blanco, y en Tamaulipas y Chiapas, el decremento en la producción obedece a la dinámica irregular de la rentabilidad.(Fundación Chiapas produce, cadena agroalimentaria de la soya).

Su clasificación taxonómica es:

Tabla 4. Taxonómica de la soya

Clase:	Angiospermae
Subclase:	Dicotyledoneae
Orden:	Leguminosae
Familia:	Rosales
Género:	Glycine
Especie:	max

La semilla de soya conocida comúnmente como “fríjol soya”, cobra una singular importancia sobre todo por su valor proteínico, tanto para uso humano y animal; así como por la enorme variedad de productos comerciales elaborados que se realizan con esta semilla.

El “fríjol soya” es considerado una oleaginosa, debido a que tiene un alto contenido de grasa, evaluado en 20% además de su también alto valor proteínico de 40%, hidratos de carbono en 25%, agua en un 10% y cenizas en 5%; desde

una perspectiva alimentaria y comercial sus principales componentes son la proteína y la grasa (revista abriendo surcos).



Figura 4. Planta y semilla de soya

2.3.2 Cártamo

El cártamo es una planta oleaginosa conocida también como alazor, azafrán bastardo, azafrancillo, azafrán romí, kusum, honghua y safflower. El nombre del género *Carthamus* en Árabe se refiere al color rojizo del colorante vegetal que se usaba en alimentos o para colorear telas y otros objetos, y el de la especie *tinctorius* se refiere a teñir o colorear. El colorante está constituido básicamente por ácido cartamínico y por inocartamina. (Claridades Agropecuarias 1994)

A nivel mundial, la India es el país de mayor producción de cártamo con 36.5%, pero la mayor parte de su producción es para consumo interno (tabla 5). El segundo país productor es Estados Unidos de América con 22.8% y México con 15.6%, es el tercer productor.

Caracterización de dos variedades de aceite de higuierilla silvestre, para producción de biodiesel en el Valle del Mezquital.

Tabla 5. Países productores de cártamo.

País	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Alemania	25,184	17,185	20,608	11,486	13,317	13,939
Estados unidos	15,775	33,994	36,144	27,680	24,880	31,858
Japón	19,156	14,493	13,265	15,051	13,639	14,021
México	171	67	1,828	639	3,012	7,407
Países bajos	19,350	19,666	20,067	12,419	17,118	15,174
Reino unido	791	863	225	287	1,174	1,857
otros países	3,544	30,300	3,134	7,610	3,825	5,222
Mundial	83,971	116,588	95,271	75,172	76,985	89,478

Fuente: Faostat

Antiguamente su planta tierna y semillas se utilizaban para alimentar ganado y actualmente, su mayor importancia es por el contenido de aceite en la semilla. La calidad del aceite de cártamo estriba en los altos porcentajes de ácidos grasos oleico y linoleico presentes. (Berglund- *et al.*, 1998).

El fruto del cártamo es la semilla y presenta una cubierta fibrosa y dura que protege al grano formado por dos cotiledones y un embrión. El color de la semilla generalmente va de cremoso a blanco; sin embargo, en algunas variedades puede tener tonalidades grises y cafés. La semilla de cártamo es por sí misma estable y muy segura para almacenar por largos periodos de tiempo.

Las semillas de las variedades de cártamo utilizadas a nivel mundial cuentan con una relación de 60% de almendra y 40% de cáscara, pero dentro del germoplasma se puede observar una amplia variación.

El cártamo es miembro de la familia *Compositae* o *Asteraceae*. La planta es anual con raíz pivotante, su tallo es erecto, ligeramente pubescente o glabro, sólido y ramificado. El número de ramas varía de acuerdo al genotipo y a la densidad de siembra. El tipo de germinación es epígea, es decir que los cotiledones salen al emerger del suelo. Taxonomía del cártamo. (Montoya 2010.)

Tabla 6. Taxonomía del cártamo

División: Tracheophyta

Clase: Angiospermae

Familia: Compositae o asteraceae

Género: Carthamus

Especie: Tinctorius

El fruto o aquenio maduro de las variedades más comunes está constituido por un 33-60% de cáscara y 40-60% de almendra. Los contenidos de aceite pueden variar de 20 a más de 45% en la semilla. La selección para altos contenidos de aceite en la semilla de las nuevas variedades ha reducido el grosor de la testa o pericarpio. Una semilla individual alcanza su madurez fisiológica alrededor de 25 días después de iniciada la floración. (Montoya 2010.)



Figura 5. Planta y semilla de cártamo.

2.3.3 Canola

En México se le conoce como vainita, nabillo, mostacilla, nabo aceitero, y muchos agricultores la identifican como una "mala hierba" en los cultivos de trigo, maíz, alfalfa, cebada y avena; aunque también se le considera como planta silvestre, a veces invasora en terrenos descuidados.

Originalmente era una planta de uso exclusivamente forrajero, en los años 50 en China la colza forrajera fue transformada en colza oleaginosa, y a partir de los

Caracterización de dos variedades de aceite de higuera silvestre, para producción de biodiesel en el Valle del Mezquital.

años 70 y 80 con los cambios en sus características tecnológicas logradas en Canadá, se le dio el nombre de Canola (Canadian Oil Low Acid), gracias a los cuales en poco tiempo se ubica en el segundo lugar como planta oleaginosa cultivada en el mundo.

En México el uso de esta planta o de su antecesor el nabo silvestre, ha sido como hortaliza, de la cual se consumen las ramas tiernas como inflorescencias "corazones", y como "vaina" para alimento de los pájaros.

Por su alto contenido de aceite en el grano (40-44%) actualmente, la canola se usa principalmente como oleaginosa para la obtención de aceite comestible mediante procesos de trituración y de extracción.

Tabla 7. Taxonomía de la canola.

División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliophyta
Orden	Brassicales
Familia	Brassicaceae
Género	Brassica
Especie	Napus



Figura 6. Planta y semilla de canola.

2.3.4 Girasol

México importa aproximadamente el 85% de semillas oleaginosas para la extracción de aceite comestible. El girasol (*Helianthus annuus* L. Asteraceae) es una opción para la producción del aceite, particularmente en las zonas áridas y semiáridas debido a la calidad del aceite y a su composición de ácidos grasos los cuales dependen de las condiciones climáticas. (Diana Jasso uaaa). El Girasol constituye una planta de excelentes cualidades para el agricultor, se obtiene el aceite para consumo humano, animal y biodiesel (cultivos energéticos)

La composición de ácidos grasos del aceite determina su uso como un aceite industrial o comercial (Osorio et al. 1995). Aunque el aceite de la semilla de las variedades de girasol es considerado de buena calidad para propósitos comestibles, el desarrollo de variedades con alto contenido de ácido oleico es actualmente, un mejoramiento importante (Martínez et al. 1993).

El grano de girasol dentro de las oleaginosas a nivel mundial, ocupa el tercer lugar y le anteceden la colza (37 millones de toneladas.) y la soja (170 millones de toneladas) (cultivos energéticos alternativos)



Figura 7. Planta y semilla de girasol.

2.3.5 *Jatropha*

El género *Jatropha* L. comprende aproximadamente 175 especies de hábitos suculentos, arbustos y árboles (algunos son de hojas caducas, como *Jatropha curcas* L.). Las plantas de este género crecen de forma nativa en África, Norteamérica, y el Caribe. A la especie *Jatropha curcas* le llaman “La planta mágica” ya que es una de las mejores fuentes de combustible natural. Las características botánicas principales de esta especie son las siguientes:

Origen: Es una oleaginosa originaria de México y Centroamérica, pero crece en la mayoría de los países tropicales. Se la cultiva en América Central, Sudamérica, Sureste de Asia, India y África.

Distribución: Supuestamente llevada por portugueses a sus colonias de Asia y África entre 1750-1800, como planta para cercar, hoy en día se ha expandido por el mundo, especialmente las zonas cálidas. Está presente en forma natural o cultivada en casi todo Centro América, al igual que en las estribaciones de la cordillera andina y la cuenca amazónica, África del sur, Centro este y oeste.

Clasificación Taxonómica: Según Cronquist (1981), la clasificación taxonómica de la jatrofa es la siguiente:

Caracterización de dos variedades de aceite de higuerrilla silvestre, para producción de biodiesel en el Valle del Mezquital.

Tabla 8. Taxonomía de la jatropa.

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Euphorbiales
Familia	Euphorbiaceae
Genero	Jatropha L.
Especie	Jatropha curcas L

Nombres Comunes: Español: jatropa, piñón. En otros países se la conoce como: Nuez purgante, piñón, piñoncillo (México), Tempate (Costa Rica y Nicaragua), Habel meluk (Portugal), Piñón manzo (Brasil), Piñón de leche o piñón de botija (Cuba), Piñón (Argentina).



Figura 8. Planta y semilla de jatropa.

2.3.6 Higuerrilla (*Ricinus communis*)

Esta planta arbustiva tiene su origen en África tropical (Abisinia, actualmente Etiopia), así mismo se presume también tener su origen en la India, así como ser nativa de América.

Caracterización de dos variedades de aceite de higuera silvestre, para producción de biodiesel en el Valle del Mezquital.

Se encuentra distribuida actualmente en casi todo el mundo, especialmente en lugares con climas cálidos, tropicales, por ser una planta heliófila y xerófila se adapta a climas secos. Esta planta prospera desde el nivel del mar hasta los 2500 msnm. A alturas mayores a esta, la disponibilidad de aceite disminuye.

En climas cálidos la planta es perene y en climas templados con inviernos duros se vuelve caduca (Comar.*et.al*; 2004).

Tabla 9. Taxonomía de la higuera

Orden:	<i>Euphorbiales</i>
Familia:	<i>Euphorbiaceae</i>
Género:	<i>Ricinus</i>
Especie:	<i>Communis</i>



Figura 9. Planta de higuera.

Caracterización de dos variedades de aceite de higuierilla silvestre, para producción de biodiesel en el Valle del Mezquital.

Debido a su distribución en los diferentes países del mundo, esta planta tiene diferentes nombres, a continuación se muestra una lista de los diferentes nombres con los que es conocida en diferentes países de Latinoamérica.

Tabla 10. Otros nombres de la higuierilla

País	Nombre común de <i>Ricino comunnis</i>
Argentina	Tártago, higuierilla, castor
Brasil	Mamona, mamoneira, tártago, ricino, ricino mamona, carrapateiro, palma christi
Paraguay	Mbai.-sivó, ambaí-sivó, palma christi, higuierilla infernal
Colombia	Catapucia mayor, ricino, higuierilla.
Cuba	Degha, higuiereta, koch, palma christi, ricino
Puerto Rico	Higuiereta.

Fuente: Comar.*et.al*; 2004.

2.4 ¿Que son los lípidos?

La palabra lípidos proviene del griego *lipos*, que significa grasa y cuya aplicación no ha sido bien establecida, originalmente se definía como una sustancia insoluble en agua, pero soluble en solventes orgánicos como cloroformo, hexano y éter de petróleo (Badui, 2006).

Los lípidos son grupos de compuestos constituidos por carbono, hidrogeno y oxigeno que integran cadenas hidrocarbonadas alifáticas o aromáticas, aunque también contiene fosforo y nitrógeno, desempeñan, muchas funciones en los tejidos, además de que son la fuente energética más importante, ya que cada gramo genera 9Kcal (38.2 KJ). Las grasas y los aceites son los principales lípidos que se encuentran en los alimentos y contribuyen a la textura y en general a las propiedades generales de la nutrición; no hay una distinción entre ambos grupos, aun cuando algunos consideran que las grasas son de origen animal y los aceites de origen vegetal o bien las grasas son solidas a temperatura ambiente, mientras

que los aceites son líquidos. Sus principales fuentes son las semillas oleaginosas y los tejidos animales (Badui, 2006).

2.4.1 Importancia de las grasas y los aceites

Los aceites y las grasas han sido reconocidos como nutrientes esenciales tanto en las dietas de los animales como en la de los humanos. Constituyen la fuente de energía más concentrada conocida, aportan ácidos grasos esenciales (precursores de importantes hormonas, las prostaglandinas). El conocimiento de la composición química de las grasas y aceites y de las fuentes a partir de las que se obtiene es esencial para comprender la nutrición y la bioquímica de las grasas. (Steven Ziller et. al 1994).

2.4.2 Clasificación de los lípidos

Una manera de clasificarlos a los lípidos es dividirlos en tres grandes grupos en función de su estructura química.

2.4.2.1 Ácidos grasos

En forma pura, todas las grasas y los aceites están constituidos exclusivamente por triacilglicéridos (o triglicéridos), los que a su vez son ésteres de ácidos grasos con glicerol, por consiguiente dichos ácidos representan un gran porcentaje de la composición de los triacilglicéridos y en consecuencia de las grasas y los aceites (Badui et.al 2006).

Los triglicéridos se componen fundamentalmente de tres ácidos grasos unidos por enlaces éster a una molécula de glicerol. 100 gramos de grasa rinde aproximadamente 95 gramos de ácidos grasos.

Las propiedades de físicas y químicas de las grasas dependen en gran medida de los tipos y proporciones de los ácidos grasos que los constituyen, así como del modo en que se distribuye en el esqueleto del glicerol. La variabilidad de estos parámetros es el resultado de las exigencias fisiológicas del animal o de la planta que las produce. (Ziller, et al, 1994). Los ácidos grasos se producen industrialmente a partir de diferentes fuentes de grasas y se utilizan en la

elaboración de diferentes tipos de aditivos en la industria alimentaria. Los de 16 a 18 carbonos, palmítico, oleico y esteárico, se emplea como emulsificante en forma de sus respectivos ésteres, además las sales de calcio y magnesio del palmítico y del esteárico se usan como antiaglomerantes en vegetales deshidratados y en otros productos secos porque son insolubles en agua y, al recubrir las partículas sólidas repelen el agua y evitan la aglomeración.

Para su estudio los ácidos grasos se han dividido en dos grandes grupos los saturados y los insaturados (Badui et.al 2006).

2.4.2.2 Ácidos grasos saturados

Varía de 4 a 26 carbonos y su temperatura o punto de fusión aumenta con el peso molecular o largo de la cadena; así los de C4 a C8 son líquidos a 25°C, mientras que los de C10 en adelante son sólidos y su solubilidad en agua es inversamente proporcional al peso molecular.

Los saturados son mucho más estables que los insaturados, ante la oxidación, sin embargo en condiciones de temperatura muy alta (más de 180°C), como llega a suceder en el freído, y en presencia de oxígeno, pueden sufrir reacciones oxidativas (Badui, 2006).

Tabla 11. Composición de ácidos grasos contenidos en los aceites de *Jatropha Curcas* e higuera.

Ácido graso	Composición en <i>Jatropha Curcas</i> (%)	Composición en Higuera (%)
Mirístico (C14: 1)	0.18	1
Palmítico (C16: 1)	11.4	22
Esteárico (C18: 0)	2.27	3
Oleico (C18: 1)	45	19
Linoleico (C18: 2)	40.3	54
Linolénico (C18: 3)	0.85	1

Fuente: Berchmans (2007) y Zieba y col. (2009)

2.4.2.3 Ácidos grasos insaturados

Debido a su insaturación, estos compuestos tienen una gran reactividad química ya que son propensos a la saturación y a transformaciones oxidativas y de isomerización. Son muy abundantes en los aceites vegetales y marinos; su temperatura de fusión disminuye con el aumento de las dobles ligaduras y siempre es menor que la de los saturados para una misma longitud de cadena. Los de una insaturación se llaman monoenoicos o monoinsaturados, y a los de más de una se les denomina polienoicos o poliinsaturados; en el primer caso, la mayoría presenta la doble ligadura entre los carbonos 9 y 10.

En los últimos años se han llevado a cabo diversas modificaciones genéticas que han permitido desarrollar semillas con perfiles de ácidos grasos distintos; algunos ya son una realidad comercial, mientras que otros están en proceso de desarrollo. Por ejemplo el aceite de soya bajo en linolenico (<3%) y alto oleico (>80%), la palma baja en palmítico y en esteárico y alta en oleico; oleína de palma con bajo punto de enturbiamiento (<5°C); canola alta en oleico y baja en linolenico, girasol sin ceras, etc. Estas modificaciones, en general, le confieren más estabilidad a los aceites y facilitan su procesamiento industrial, en detrimento, en ocasiones de su valor biológico para la reducción del contenido de ácidos grasos indispensable (Badui et.al 2006).

2.4.2.4 Ácidos grasos sustitutos

También llamados ácidos Hidroxigrasos, el más conocido es el ácido ricinoleico

2.4.2.5 Acilgliceridos

Son lípidos neutros o sin carga, derivados de la reacción de esterificación entre el glicerol y una, dos o tres moléculas de ácidos grasos en las posiciones 1,2 y 3 o α , β , γ del glicerol (Badui et.al 2006)

2.4.2.6 Fosfogliceridos

Son diacilgliceridos cuyos glicerol está especificado a una molécula de ácido fosfórico, que a su vez, se enlaza a una base nitrogenada (colina o etanolamina), a la cerina o a un alcohol, como el inositol.

Se oxidan fácilmente pero en algunos casos funcionan como antioxidantes naturales que protegen a los lípidos que lo contienen; es decir, de acuerdo con su concentración, pueden actuar como antioxidantes o como prooxidantes (Badui et.al 2006).

2.4.2.7 Ceras

Son ésteres de un alcohol monohidroxilado de cadena larga como un ácido graso, son muy resistentes a la hidrólisis. Funcionan como agentes protectores en la superficie de las hojas, los tallos y los frutos, al igual en el pelo, la lana y las plumas de los animales y en los peces; son sólidos en frío, pero líquidos y moldeables en caliente y su temperatura de fusión varía de 40 a 100°C.

2.4.2.8 Esteroides

Son sustancias integradas por el grupo perhidrociclopentanofenantreno, una cadena hidrocarbonada y un grupo alcohol, y se encuentra tanto en el reino vegetal como en el animal (Badui et.al 2006).

2.6 Métodos de extracción de aceites

Los métodos de extracción de aceites se dividen en químicos y mecánicos (Badui, 2006)

Desde años inmemorables los aceites han jugado un papel importante en la vida del ser humano, tal es el caso que lo han empleado como fuente de energía, al utilizarlo como combustible en las antorchas para generar luz.

Las grasas vegetales se obtienen extrayendo el aceite con solvente o exprimiendo la semilla oleaginosa mediante presión. Históricamente se emplea un sistema que consistía en exprimir la semilla en frío o en caliente. Estos métodos han sido sustituidos por la extracción con solvente sola o combinada con un prensado previo que mejora el rendimiento (Steven Ziller, et al. 1994)

2.6.1 Método químico

La extracción de lípidos con solventes químicos ha sido utilizada tradicionalmente para obtener lípidos de fuentes animales y vegetales, para el caso de las micro algas, el solvente es por lo general adicionado a la biomasa seca aunque en algunos casos es utilizado en biomasa con cierta cantidad de agua, lo que disminuye los costos globales del proceso, pero disminuye también la eficiencia de la extracción. (González et.al 2009).

Una metodología basada en solventes químicos fue propuesta por Folch et al. En 1957, la cual extrae lípidos tanto polares, como no polares, esto se logra debido a la utilización de un solvente apolar, el cual disuelve los lípidos neutros, en combinación con un solvente relativamente polar, el cual disuelve los lípidos polares presentes en la muestra sometida a extracción, estas propiedades de los solventes fueron originalmente aprovechadas para desarrollar un método basado en la mezcla metanol/cloroformo, seguido de una purificación de los extractos con una solución de KCl.

El aceite de ricino posee una composición química peculiar, debido al alto contenido (87-97%) de ácido ricinoleico (ácido cis-12-hidroxi octadeca-9-enoico). La presencia del grupo hidroxilo provee de características únicas tanto al aceite de ricino como a sus derivados: polaridad, alta viscosidad y gravedad específica, además de permitir su completa solubilidad en alcoholes. (García y cota., et al ; 2009).

Un inconveniente que presentan los métodos de extracción con solvente químico son las grandes cantidades de dichos solventes que se deben utilizar para obtener cantidades significativas de aceite, esto implica mayores costos de operación, una alternativa para la disminución de estos costos es la reutilización de solvente, sin embargo, esto disminuye la eficiencia de la extracción, ya que la pureza del solvente es la fuerza impulsora de la transferencia de masa. (González et.al 2009).

2.6.2 Método físico

Para la extracción mecánica se puede usar una prensa con un gusano o tornillo sin fin con control de presión para asegurar una máxima eficiencia de remoción de aceite. En esta etapa se tienen dos productos:

1. Una mezcla de aceite, agua u sólidos en suspensión
2. Una torta de fibra y cáscara con algo de aceite residual. (SEMARNAT)

3. Justificación

Los altos índices de contaminación en el país, han dado origen a la búsqueda de nuevas alternativas para el cambio en el uso de combustibles convencionales a los llamados biocombustibles que son generados a partir de material biológico, como lo son los aceites, residuos de madera, estiércoles, entre otros. Siendo el biodiesel generado a partir de aceites vegetales, al momento de ser quemado libera menos cantidad de CO y no genera los trióxidos de azufre (SO₃), evitando así la lluvia acida.

En México el cultivo de la higuierilla no se considera como tal, ya que es considerada como maleza, no tiene la importancia que se le da en otros países como España, Brasil, India, entre otros, debido a la falta de información sobre las propiedades y usos de este. El establecimiento de esta planta como cultivo debe de considerarse como una alternativa económica y de desarrollo en la zonas con un gran índice de marginación, siendo una planta muy rustica es adaptable a los climas de la región.

El ricino es una planta xerófila y heliófila; es decir, adaptada a ambientes áridos y amante del sol. Es originaria del oeste de África, probablemente de Etiopía. Se trata de una planta tolerante a la sequía, exigente en calor y luminosidad; por lo tanto, es apta para ser sembrada como cultivar en la zona del valle del mezquital, Hidalgo.

Una de las principales características de la higuierilla es su gran tolerancia a la sequía, esta condición permite que el cultivo sea económicamente viable en ambiente semiáridos donde hay escasas de agua. Necesita de lluvias regulares

durante su fase vegetativa y periodos secos en la fase de madurez de los frutos. La mayor exigencia de agua ocurre en el momento que se inicia la fase vegetativa. No se debe confundir que por ser tolerante a la sequía, es muy exigente en la fertilidad del suelo, por lo tanto un manejo de fertilización orgánica o mineral debe de ser hecha en atención a las necesidades de la planta para obtener una buena productividad. Esta planta tiene la capacidad e utilizar eficientemente el abono o fertilizantes aplicados, aun con baja disponibilidad de agua, situación que no se observa en otras especies cultivadas.

La industrialización de la higuierilla origina como subproducto la pasta o llamada también torta, es rica en proteínas y puede ser utilizada en la restauración de suelos degradados, así mismo contiene productos que puede ser empelados para el control de nematodos en el suelo, debido a que contiene la proteína llamada ricina altamente toxica, esta se concentra en el endospermo de la semilla, permanece en la torta tras la extracción del aceite, cabe mencionar que esta proteína es soluble en agua.

4. Hipótesis

La factibilidad de usar una técnica combinada usando un sistema de extracción química con etanol y un prensado mecánico para la extracción de aceite a la semilla de higuierilla permitirá obtener biodiesel a través de una reacción de “transesterificación alcalina”.

5. Objetivos

5.1 Objetivo general

Caracterización de aceite de dos variedades silvestres de higuierilla, para producción de biodiesel en el Valle del Mezquital.

5.2 Objetivos específicos

- Aprovechamiento de recursos naturales de la región del Valle del Mezquital.
- Procesamiento de la semilla de higuera para la obtención de aceite.
- Estandarización de un método de extracción de aceite, a partir de la semilla de higuera (*Ricinus communis*).
- Generación del biodiesel a partir de aceite de ricino.

6. Metodología

6.1 Caracterización de la zona de colecta de materia prima

El Valle del Mezquital es una de las diez regiones geográficas y culturales del estado de Hidalgo en México, una pequeña parte se extiende también hacia los municipios de Apaxco, Tequixquiac y Huehuetoca estado de México, al descender la topografía con las afluentes del Canal de Desagüe que proviene del Valle de México y que se conecta con el Río Tula. Durante años estuvo considerada como una de las zonas con menor riqueza del país. Consiste en un conjunto de valles rodeados por montañas en cuya vegetación cerril destaca el mezquite.

Está conformado por al menos cinco subregiones compuestas por las planicies de Ixmiquilpan Tula, Actopan, Alfajayucan y Tasquillo.

El Valle del Mezquital está dentro de los límites del estado de Hidalgo. Situado en lo alto de la meseta mexicana, a 60 Km. de la ciudad de México, con una altitud entre 1,700 m y 2,100 m sobre el nivel del mar .

En la región se encuentran situados los municipios de:

Caracterización de dos variedades de aceite de higuierilla silvestre, para producción de biodiesel en el Valle del Mezquital.

Actopan, Ajacuba, Alfajayucan, El Arenal, Atitalaquia, Atotonilco de Tula, Chapantongo, Chilcuautila, Francisco I. Madero, Huichapan, Ixmiquilpan, Mixquiahuala, Nopala, Progreso, San Agustín Tlaxiaca, Santiago de Anaya, San Salvador, Tasquillo, Tecozautla, Tepejí del Río, Tepetitlán, Tetepango, Tezontepec de Aldama, Tlahuelilpan, Tlaxcoapan y Tula de Allende.



Figura 10. Mapa de las regiones fisiográficas del estado de Hidalgo.

En cuanto a hidrología se refiere, el Río Tula es una corriente de agua que corre por el estado de Hidalgo (centro de México). Toma su nombre de la ciudad de Tula de Allende, una de las principales poblaciones por las que atraviesa en su recorrido. Aunque originalmente nacía en el Valle de Tula, desde la construcción del sistema de desagüe de la Cuenca de México (siglo XVII) el río Tula recibe las aguas de los ríos del Valle de México que originalmente alimentaban a los lagos de Texcoco, Chalco, Xochimilco, Zumpango y Xaltocan.

6.2 Identificación y colecta de materia prima

La colecta de la materia prima en este caso la semilla de higuera, fue de manera manual con el apoyo de tijeras podadoras y cuchillos.

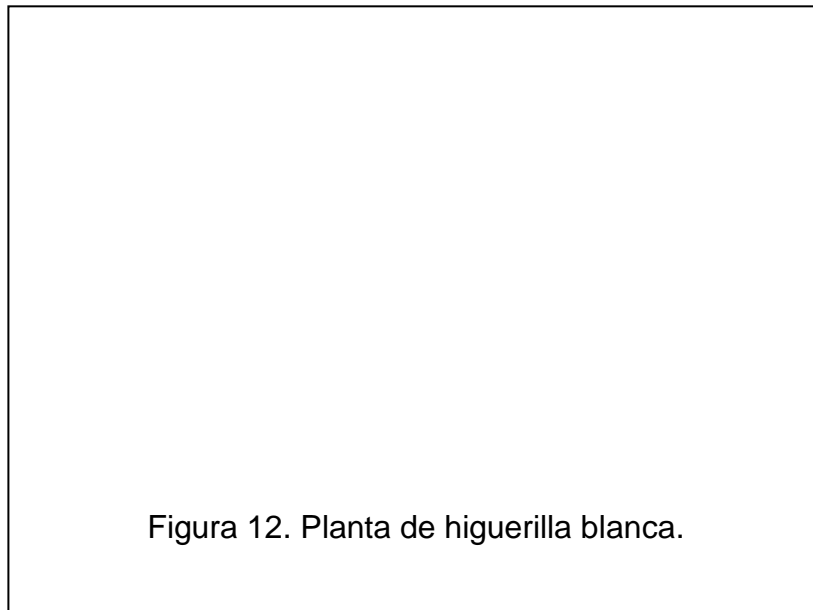
Se identificaron dos variedades de higuera silvestre de manera abundante, la mayoría de ellas situadas a orillas de canales y bordos, razón por la cual se observó que las plantas han expresado su máximo potencial, siendo que no tiene competencia alguna con otros de diferentes especies, y tienen a disposición abierta al agua. Las variedades identificadas comúnmente son conocidas por los pobladores de la región como higuera blanca y negra.



Figura 11. Colecta de la materia prima.

Higuera blanca

La característica más notoria de esta variedad es que presenta un color verde limón o claro en las hojas, la semilla es de café claro.



Higuera negra.

Este nombre es otorgado por los pobladores de la región debido al color negro que presenta la semilla, las características de la planta son similares a los individuos de las demás variedades.

Higuera roja

Se identificaron dos especies de esta variedad roja grande y roja chica, el nombre es dado por los pobladores de la región de acuerdo a las características de la planta, presenta en las hojas y frutos un color rojo, el color de la semilla es entre café oscuro y rojizo.



Figura 13. Planta de higuierilla roja.

5.3 Tratamiento de la materia prima

Se coloca al sol los racimos de higuierilla, para secar la testa y romperla, de esta forma sacar la semilla, las capsulas que no son posibles romper al momento de secarse, se rompen manualmente con el apoyo de unas pinzas de disección, en la figura se muestra el tratamiento de la higuierilla.



Figura 14. Tratamiento de la semilla de higuierilla.

5.4 caracterización de la semilla de higuera (*Ricinus Comunnis*)

Los análisis realizados a la semilla de higuera fueron:

Determinación de humedad por el método de secado la estufa

Se colocaron tres capsulas de porcelana a peso contante a una temperatura de 100-105°C en un horno de laboratorio marca Felisa, posteriormente en los crisoles se peso 5 gr de la muestra, se colocan nuevamente en el horno por un periodo de 4 hrs. Al final se obtiene el porcentaje de humedad por diferencia de pesos utilizando la siguiente formula.

$$H = (((PC + PM) - PF)/PM)100$$

Donde:

H: Humedad.

PM: Peso de la muestra

PC: Peso constante

PF: Peso final



Figura 15. Humedad en semilla de higuera.

Caracterización de dos variedades de aceite de higuera silvestre, para producción de biodiesel en el Valle del Mezquital.

Tabla 12. Datos obtenidos para la determinación de humedad.

Muestra	Peso 1	Peso 2	Peso constante	Peso de muestra	Peso final
Variedad 1					
1	21.055	21.0546	21.0543	5.0401	25.8869
2	21.4140	21.41	21.4130	5.0287	26.2359
3	24.2572	24.2572	24.2568	5.0331	29.0829
Variedad 2					
1	21.0532	21.0542	21.05403	5.0408	25.7872
2	21.4010	21.4125	21.4118	5.0130	26.1324
3	24.2557	24.2568	24.2553	5.0030	28.9571

Determinación de cenizas por el método de cenizas totales (calcinación).

Se colocaron tres crisoles de porcelana a peso contante a una temperatura de 100-105°C en un horno de laboratorio marca Felisa, posteriormente en los crisoles se peso 5 gr de la muestra, enseguida con el apoyo de un mechero bunsen, un triangulo de porcelana y un soporte universal, se quema la muestra hasta no haber desprendimiento de humos, a continuación se meten a una mufla marca vulcan-a130 a una temperatura de 550 °C por un periodo de 3 hrs. Al final se determina el porcentaje de cenizas por diferencia de pesos, empleando la formula:

$$C = ((PF - PC)/PM)100$$

Donde:

Caracterización de dos variedades de aceite de higuera silvestre, para producción de biodiesel en el Valle del Mezquital.

C: Cenizas

PM: Peso de la muestra

PC: Peso constante

PF: Peso final



Figura 16. Cenizas en semilla de higuera.

Tabla 13. Datos obtenidos para la determinación de cenizas

Muestra	Peso 1	Peso 2	Peso constante	Peso de muestra	Peso final
Variedad 1					
1	33.4927	33.4923	33.4921	5.0104	33.6929
2	29.5271	29.5274	29.5269	5.0212	29.7274
3	20.2468	20.2454	20.2436	5.0478	20.4512
Variedad 2					
1	33.4870	33.4923	33.4889	5.0247	33.6629

Caracterización de dos variedades de aceite de higuera silvestre, para producción de biodiesel en el Valle del Mezquital.

2	20.2426	20.2446	20.2441	5.0861	20.4143
3	29.5251	29.5267	29.5222	5.0947	29.7037

Determinación de grasa por el método de Goldfisch.

Se ponen a peso contante los vasos de vidrio chicos y grandes goldfisch, así como el cartucho de celulosa, a una temperatura de 100-105°C en un horno de laboratorio marca Felisa, posteriormente se pesan 5 grs de muestra en el cartucho de celulosa, se agregan 60ml de éter anhidrido al vaso de goldfisch grande, el equipo se monto con anterioridad y se precalentó, la muestra se dejo en el proceso de extracción por un periodo de 9 hrs, al final se cuantifico la grasa extraída por diferencia de pesos, empleando la formula .

$$G = ((PF - PC)/PM)100$$

Donde:

G: Grasa.

PM: Peso de la muestra

PC: Peso constante

PF: Peso final

Caracterización de dos variedades de aceite de higuera silvestre, para producción de biodiesel en el Valle del Mezquital.



Figura 17. Determinación de grasa por el método goldfisch.

Tabla14. Datos obtenidos para la determinación de grasa.

Muestra	Peso 1	Peso 2	Peso constante	Peso de muestra	Peso final
Variedad 1					
1	63.6320	63.6426	63.6418	4.7958	65.4885
2	62.9405	62.9420	62.9488	4.7569	65.0657
3	65.2431	65.2489	65.2510	4.7768	66.9614
Variedad 2					
1					
2					
3					

Determinación de proteína por el método de Kjeldahl.

Para la determinación de proteína, se preparan una solución de carbonato de calcio para la unidad de captura de gases, hidróxido de sodio al 32%, ácido bórico al 2%, ácido sulfúrico al 0.1N. Para la digestión se pesan 10 gr de sulfato de potasio, 0.2 gr de sulfato de cobre, 1.5 gr de la muestra y 20 ml de ácido sulfúrico concentrado, se colocan en el tubo de digestión, en seguida se posicionan en el digestor previamente precalentado, los tubos se retiraron del digestor hasta observar un color verde esmeralda, posteriormente la muestra digerida se colocó en el destilador Kjeldahl, colectando el líquido destilado, en seguida se procedió a titular con ácido sulfúrico al 0.1N.

Los análisis realizados se efectuaron por triplicado en cada una de las muestras y determinaciones, todos bajo las mismas condiciones.

5.5 Extracción de aceites

Los métodos más empleados en la extracción de aceites han sido químico y físico, cada uno de con sus respectivas metodologías previamente establecidas. En la extracción del aceite de ricino en el Valle del Mezquital, se empleó una metodología combinada (químico-física) previamente establecida.

Metodología de extracción de aceite de ricino.

1. Molienda de semilla.

Se realizó en el taller de carnes de la UTVM, empleando un molino para carnes marca Biro de 7.5 hp, la semilla quedó totalmente triturada. Como se muestra en la figura xx.



Figura 18. Molienda de la semilla de higuera.



Figura 19. Tratamiento térmico de la semilla de higuierilla.

2. Tratamiento térmico.

El tratamiento térmico consiste en poner a calentar la semilla molida o torta con etanol grado 96 como solvente a una temperatura no mayor a 75°C para evitar la evaporación, por un tiempo de 30 minutos. En la figura 19 se muestra proceso.

3. Prensado

Se utilizo una prensa de quesos con una presión de 18kg por 1kg, localizada en el taller de lácteos de la UTVM. La torta se coloca en los moldes de quesos empleando una malla como filtrante, posteriormente se colocan en una charola de plástico con la finalidad de coleccionar en ella el aceite, de esta forma se deja reposar dos días la torta en la prensa, al final de ellos se quita la charola de la prensa y se recolecto el aceite.

4. Decantado

El decantado consiste colocar el aceite en un embudo de separación, se deja reposar por un periodo de un día, como se muestra en la figura xxx al término del periodo se coloca el aceite en contenedores de plástico para su almacenaje y posteriormente ser utilizado.

En el diagrama figura 20 se muestra el diagrama de la metodología empleada en la extracción de aceite de higuierilla

Caracterización de dos variedades de aceite de higuera silvestre, para producción de biodiesel en el Valle del Mezquital.

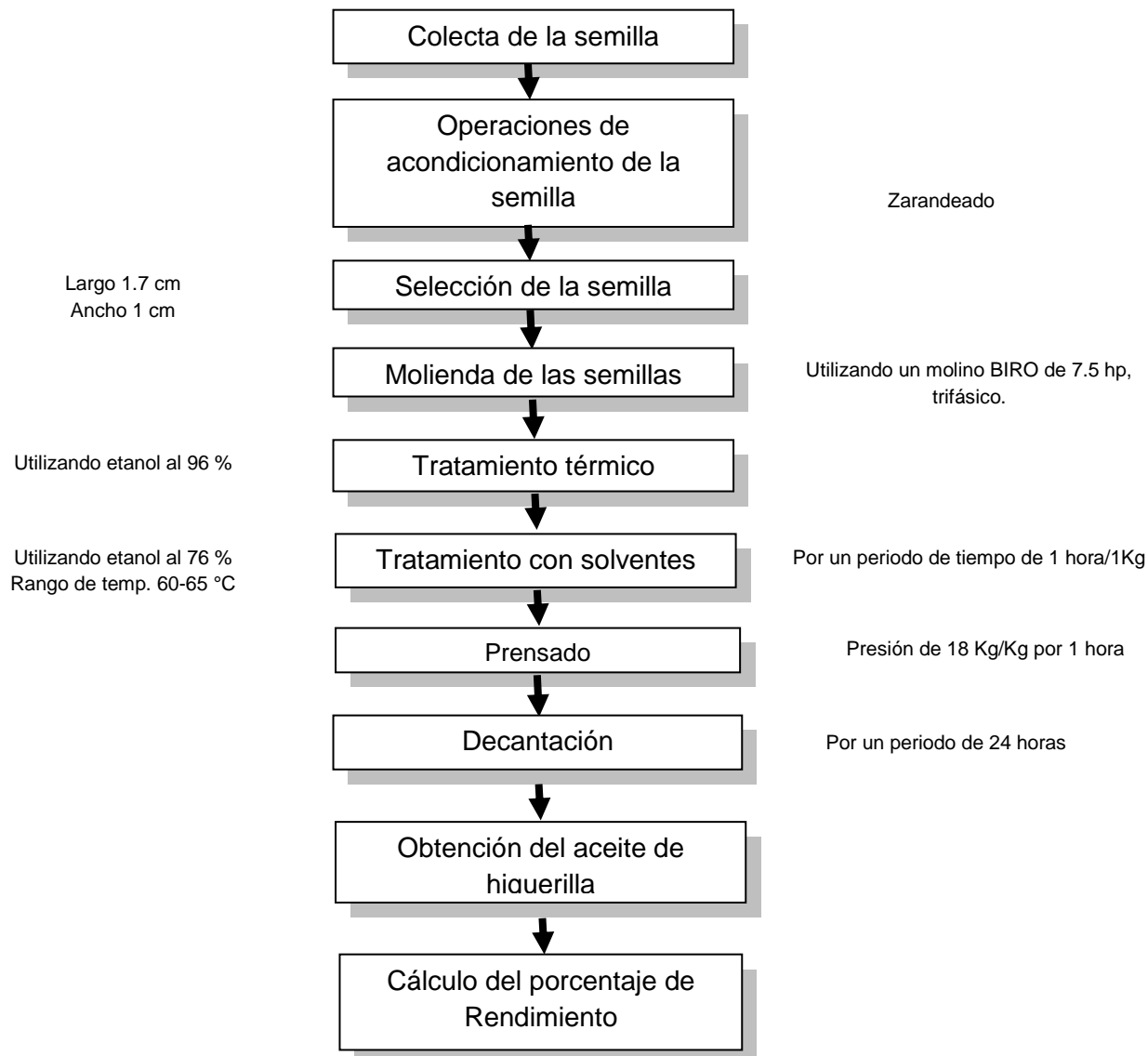


Figura 20. Diagrama de flujo de la extracción de aceite de higuera.

Fuente: Propia

5.6 Caracterización del aceite de higuera.

Los análisis físico-químicos realizados al aceite de higuera fueron:

- Índice de acides o Acidez Total: Por titulación, la muestra se disuelve en mezcla de tolueno/etanol, titulando con NaOH y usando fenolftaleína como indicador (Díaz et al 2009).
- Índice de peróxidos por titulación.
- Viscosidad se empleó un viscosímetro convencional marca BROOKFIELD LV, RV.

- Densidad por el método de picnómetro.

6. Resultados y discusión

6.1 Obtención de aceite de semilla de higuera

El objetivo de este estudio experimental fue la caracterización de dos variedades de aceite de higuera. Para este estudio se realizó la recolección de más de dos variedades de higuera que se encuentran distribuidas en los diferentes municipios que conforman el Valle del Mezquital, a lo que se hizo una selección de aquellas que de manera tal que al destruirlas visualmente presentaran exudación de aceite, cabe mencionar que se seleccionaron únicamente dos y que dicha selección se llevó a cabo basándose en su tamaño, y capacidad de exudación de aceite, mediante una prueba de destrucción de la semilla.

El término lípido se refiere a un grupo de compuestos que son escasamente solubles en agua, pero que muestran una solubilidad mayor o menor en una serie de disolventes orgánicos (por ejemplo, éter dietílico, el éter de petróleo, el etanol, metanol, el benceno). El contenido de lípidos de un alimento es determinado mediante la extracción con un disolvente dado, puede ser completamente diferente del contenido de lípido determinado, con un disolvente distinto, de diferente polaridad. El contenido en grasa se determina con frecuencia mediante métodos de extracción con disolventes, (por ejemplo Soxhlet, de Goldfish, o de Mojonnier), pero también puede ser determinado por medio de métodos de extracción por vía húmeda sin disolventes (por ejemplo), los de Babcock o de Gerber y por métodos instrumentales que se fundamentan en las propiedades físicas y química de los lípidos (por ejemplo, el infrarrojo, la densidad, la absorción de rayos X). El método de elección depende de una diversidad de factores, los cuales incluyen la naturaleza de la muestra (por ejemplo, seca frente a húmeda), en el presente estudio se desarrolló el método de Goldfish para poder determinar el contenido de grasa presente en las dos variedades de aceite de higuera.

Caracterización de dos variedades de aceite de higuierilla silvestre, para producción de biodiesel en el Valle del Mezquital.

Para caracterizar cuánta grasa contiene cada variedad se procedió a realizar un método de extracción a través del método goldfish, este análisis se realizó en las instalaciones de la Universidad Tecnológica del Valle del Mezquital, en la tabla 15 podemos observar los resultados obtenidos.

Tabla 15. Determinación de grasa en la semilla de higuierilla variedad roja chica. por el método de goldfish

Peso del vaso grande goldfish	Vaso goldfish con muestra	Muestra	Vaso chico goldfish con grasa obtenida	% de grasa
63.6418	65.4885	4.795	25.7752	36.506
		8		
62.9488	65.0657	4.756	25.2589	36.501
		9		
65.2510	66.9614	4.776	26.1815	33.806
		8		

Tabla 6. Determinación de grasa, semilla de higuierilla roja chica (Pesos).

Fuente: propia UTVM, 2012.
Porcentaje de grasa= 35.60
Desviación estándar de 3.784

Tabla 16. Determinación de grasa de la semilla de higuierilla variedad roja grande, por el método de goldfish

Peso del vaso grande goldfish	Vaso goldfish con muestra	Muestra	Vaso chico goldfish con grasa obtenida	% de grasa
63.6418	65.4885	4.795	25.7752	38.506
		8		
62.9488	65.0657	4.756	25.2589	44.501
		9		
65.2510	66.9614	4.776	26.1815	35.806
		8		

Tabla 7. Determinación de grasa, semilla de higuierilla roja (Pesos).

Fuente: Propia UTVM, 2012.
Porcentaje de grasa= 39.60
Desviación estándar de 4.45

Caracterización de dos variedades de aceite de higuera silvestre, para producción de biodiesel en el Valle del Mezquital.

Es importante resaltar que para la muestra identificada como “roja grande” fue la que obtuvo un porcentaje de 39 % en grasa, muy semejante a la que reporta en la literatura.

El contenido de humedad (o los sólidos totales) en una muestra para someter a algún proceso es importante, por diversas razones, dentro de los más importantes es el deterioro, la materia seca que permanece después del análisis de las humedades, se conoce, comúnmente, como los sólidos totales. El contenido de humedad se puede determinar por una variedad de métodos, pero normalmente obtener datos precisos y exactos, resulta un reto. A lo que también, se llevó a cabo la evaluación de la cantidad de cenizas y los resultados se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 17. Datos obtenidos para la determinación de humedad

Muestra	Peso 1	Peso 2	Peso constante	Peso de muestra	Peso final
Variedad 1					
1	21.055	21.0546	21.0543	5.0401	25.8869
2	21.4140	21.41	21.4130	5.0287	26.2359
3	24.2572	24.2572	24.2568	5.0331	29.0829
% humedad = 4.1					
Variedad 2					
1	21.0532	21.0542	21.05403	5.0408	25.7872
2	21.4010	21.4125	21.4118	5.0130	26.1324
3	24.2557	24.2568	24.2553	5.0030	28.9571
% humedad = 5.9					

Fuente: propia UTVM, 2012.

Caracterización de dos variedades de aceite de higuera silvestre, para producción de biodiesel en el Valle del Mezquital.

Tabla 18 Datos obtenidos para la determinación de cenizas

Muestra	Peso 1	Peso 2	Peso constante	Peso de muestra	Peso final
Variedad 1 Contenido de cenizas 4.024 %					
1	33.4927	33.4923	33.4921	5.0104	33.6929
2	29.5271	29.5274	29.5269	5.0212	29.7274
3	20.2468	20.2454	20.2436	5.0478	20.4512
Variedad 2 Contenido de cenizas 4.456%					
1	33.4870	33.4923	33.4889	5.0247	33.6629
2	20.2426	20.2446	20.2441	5.0861	20.4143
3	29.5251	29.5267	29.5222	5.0947	29.7037

Fuente: Propia UTVM 2012.

6.2 Caracterización fisicoquímica del aceite de higuera.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos del análisis del aceite de higuera, cabe mencionar que solo se realizaron los que se describen a continuación, bajo la norma descritas previamente en la metodología.

Tabla 19. Datos de la caracterización fisicoquímica de aceite de higuierilla.

Parámetro fisicoquímico	Valores para el aceite	
	Variedad 1 (RCH)	Variedad 2 (RG)
Índice de acidez	0.5 mg/KOH	0.49 mg/KOH
Densidad	0.86 g/ml	0.96 g/ml
Viscosidad (24°C)	90.6 poises	96 poises
Índice de Peróxidos	120 mg	130mg
Índice de refracción	1.496 a 32°C	

Fuente propia UTVM 2012.

Los resultados del presente trabajo demuestran que las muestras de aceite de higuierilla se encuentran dentro de los límites tolerables para aceites vegetales y que los resultados son muy semejantes a los obtenidos por diversas muestras de aceites vegetales comestibles que actualmente se utilizan como materia prima en la elaboración de biodiesel.

6.3 Caracterización de materia prima y del aceite obtenido por extracción química-mecánica utilizando etanol y una prensa mecánica

El metanol suele ser el alcohol preferido en la producción de biodiesel por razones técnico-económicas, más sin embargo, en el presente trabajo se utilizó el etanol, después de realizando un estudio comparativo en gastos de reactivo resultó ser aún más económico que el metanol.

El valor referente a la cantidad de etanol a utilizar fue seleccionado de acuerdo a una serie de preensayos llevados a cabo con el fin de extraer la mayor cantidad de aceite de la semilla previamente molida.

En el presente estudio se sometió a un tratamiento térmico a una temperatura no mayor de 75°C, donde se evitó la evaporación del solvente, sabiendo que posee este un punto de ebullición de 78 °C, a lo que después se sometió a un prensado, que debido a que se carece dentro de la Universidad con equipo de presado, se optó por someter la torta obtenida a una presión de 18 Kg/.9 m².

6.4 Reacción de transesterificación de aceite de higuera vía catálisis alcalina usando NaOH

Como resultado de la revisión de literatura, se determinó que los dos catalizadores vía alcalina más utilizados por razones técnico-económicas son el NaOH y el KOH, más sin embargo se optó por el NaOH, teniendo fijo el tipo de catalizador, la variable de análisis más relevante fue la cantidad de catalizador a utilizar, la cantidad utilizada fue basada en porcentaje de peso conforme a la masa de aceite utilizada a convertir en biodiesel.

Tabla 20. Eficacia del tipo de catalizador alcalino

Catalizador	Eficacia
NaOH	78% Por concluir
KOH	90% Por concluir

Fuente:UTVM, 2012

Por otro lado es importante señalar que a pesar de la gran cantidad de investigaciones hechas para la producción de biodiesel a partir de higuera, se debe tomar en cuenta la cantidad de aceite que puede ser extraída a través de diversos métodos de extracción de aceites, aunque resulta ser muy abrumado, el método que se sugiere a través de una extracción química y mecánica permitirá aumentar los rendimientos obtenidos comparados con los que se reportan en literatura.

Caracterización de dos variedades de aceite de higuera silvestre, para producción de biodiesel en el Valle del Mezquital.

Se obtiene un mayor rendimiento en la producción de biodiesel a través de una reacción de transesterificación vía catálisis alcalina utilizando KOH, en comparación con la utilización de NaOH, debido a que los costos en el proceso aumentarían, por ello se sugiere utilizar NaOH.

Tabla 21. Eficiencia de la metodología del biodiesel

	Glicerina	Biodiesel
Variedad 1 (RCH)	55%	45%
Variedad 2 (RG)	50%	50%

Fuente propia. UTVM 2012

Tabla 22. Comparación de la eficiencia del método de extracción de aceite

Variedad	% de Rendimiento
Variedad 1 (RCH)	32%
Variedad 2 (RG)	36%

Fuente propia. UTVM 2012

Como se puede observar en la tabla 22, el porcentaje de rendimiento encontrado en la extracción de aceite en la variedad dos denominada como “roja grande” fue de 36% comparada con la variedad denominada “roja chica” esto es un indicativo que permite tener visión a futuro para cultivar exclusivamente esta variedad.

La ventaja de usar higuera para la producción de biodiesel consiste en su alto rendimiento de aceite por hectárea sembrada como Demirbas, 2008 lo menciona (Rendimiento en Kg/Ha = 1188). Además considerando de que esta planta no es

Caracterización de dos variedades de aceite de higuierilla silvestre, para producción de biodiesel en el Valle del Mezquital.

utilizada para consumo humano, la producción de biodiesel a partir de esta fuente vegetal es vuelve muy factible.

Las principales variables que influyen en la obtención del biodiesel son:

- La variedad 2 generó mayor rendimiento, en la obtención de aceite y biodiesel.
- El método de extracción empleado combinado se obtuvieron resultados en porcentaje mayores a rendimiento que el usado únicamente como extracción química y mecánica, según reporte de literatura.
- La transesterificación llevada a cabo con KOH en comparación con NaOH obtuvo mayores rendimientos.
- El uso de etanol empleado como solvente en la extracción del aceite de higuierilla, arrojó rendimientos mayores, comparado con la extracción química utilizando éter como solvente, esto debido a la composición de los ácidos grasos presentes en el aceite de higuierilla.

Existen datos fundamentales que ya están reportadas en la literatura especializada. Se partió de ciertas ideas, pero sobre todo de haber canalizado las más importantes, sobre todo se diseñó un experimento para lo cual se puede dar respuesta a las necesidades que la región Valle del Mezquital demanda.

7. Conclusiones Parciales

- Se logró el objetivo planteado en el presente trabajo ya que se caracterizó dos variedades de aceite de higuierilla silvestres (*Ricinus Communis*), para producción de biodiesel en la región del Valle del Mezquital, Hidalgo.
- Se logró estandarizar un método combinado para la extracción de aceite de semilla de higuierilla (*Ricinus communis*). A través de este trabajo se demuestra que el uso de un método combinado químico-mecánico es posible llevar a cabo la extracción de aceite de higuierilla para la producción de biodiesel vía catálisis alcalina, además se demuestra su posible realización ya que se usó etanol por su bajo costo para lograr extraer la grasa, comparado con los métodos de extracción química utilizando solventes que sin duda alguna son de mayor costo como lo es el hexano, éter de petróleo y cloroformo.
- Se demostró que la variedad dos identificada como “roja grande” proveniente del municipio de Tezontepec de Aldama posee un mayor porcentaje de grasa (39%) en comparación con la variedad uno identificada como “roja chica” (34%) proveniente del municipio de Francisco I. Madero, Hgo.
- Se obtuvo biodiesel a partir de aceite de higuierilla (*Ricinus communis*).

8. Recomendaciones

Realizar estudios experimentales de las propiedades físicas y químicas de los ácidos grasos contenidos en el aceite de semilla de higuierilla de las dos variedades descritas en el presente trabajo a través de un método cromatográfico,

8. Bibliografía

1. Alvarez-Barrera., D.(2011). Simulación del Proceso de Producción del biodiesel a partir de aceites de *Jatropha* e *Higuera*. Tesis profesional para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Química. UAMSNH,México. 5pp.
2. Azevedo, D.M.P. de; Lima, E.F. (2001). *O Agronegócio da mamona no Brasil*. Brasília:Embrapa Informação Tecnológica, 350 p.
3. Barajas-Forero,C. 2005. Biodiesel from castor oil:a promising fuel for cold weather. Department of Hidraulic,Fluids and Thermal sciences. Universidad de Colombia. Pag 1
4. Barnwal B. K., S.M.P., ;, *Prospects of biodiesel production from vegetable oils in India*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2005. Vol. 9: p. 363–378.
5. Berglund, D.R., N. Riveland and J. Bergman, 1998. Safflower production. North Dakota State University- Extensión Service. Consultado en www.ext.nodak.edu/extpubs/plantsci/crops/a870w.htm
6. Bojean, A. (1991). *Le Ricin. Une Culture pour la Chimie Fine*. Galileo/Onidol. 101 p.
7. *Bradshaw, G.B. y And Meuly, W.C.* 1999.Preparation of detergents, citado por Ma. Fagruí and Hanna, Milford. Biodiesel production: a review. Bioresource Technology. Vol. 70; p. 9
8. Carey, F.A. 1999. Química Orgánica. Tercera edición. Editorial Mc Graw Hill. Pag. 547
9. Cerveró J., C.J., Luque S.,; *Production of biodiesel from vegetable oils*. Revista Grasas y Aceites., 2008. Vol. 59: p. 76-83.
10. Chalita R., C.O., Harold M., Jiménez M.,; *Producción Experimental de Biodiesel a Partir de la Reacción de Transesterificación Catalítica del Aceite de Ricino*. Congreso Internacional de Materiales, Energía y Medio Ambiente (CIMEM), 2007. Barranquilla, Colombia, Universidad Autónoma del Caribe.
11. Comar,V,Tilley,D; Felix,E,Turdera,M;M.Chagas –Neto.2004.Compative Energy evaluation of castorbean(*Risinus communis*)production systems in

Brazil and The U.S. Proceeding of IV Biennial International Workshop
“Advances in Energy Studies. Pag. 227-237.

12. Demirbas, A., *Biodiesel a realistic fuel alternative for diesel engines*. SPRINGER, 2008. Cap. 5.
13. Diaz, Y.C.E., Brachna, D.O., Hryczyński, E., Sánchez, C.N., López, W. G. y H. Nasif-Ricardo. 2009. Caracterización del aceite de tertaro para la obtención de biodiesel. Universidad Nacional del Nordeste. Argentina. Pag 6-7.
14. Fangrui Ma.; Milford A. Hanna, *Biodiesel production: A review*. BIORESOURCE TECHNOLOGY, 1999.
15. Freedman B.; Pryde E.H.; Mounts T.L., *Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils*. J. Am. Oil Chem. Soc., 1986.
16. Freedman, B., Pryde, E.H., Mounts, T.L. 1999. Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils, citado por MA, Fangrui and Hanna, Op. cit., p. 10.
17. Fukuda H., K.A., Noda H., *Biodiesel fuel production by transesterification of oils*. 2001.
18. García-Cota, T., Cruz, G.V., Najera, M.I. y O. Sanchez-Daza. 2009. Purificación de biodiesel obtenido de aceite de *ricinus*. Sociedad Mexicana de ciencia y tecnología de Superficies y Materiales. Pág 2-4.
19. García-Cota, T., Cruz, G.V., Najera, M.I. y O. Sanchez-Daza. 2009. Purificación de biodiesel obtenido de aceite de *ricinus*. Sociedad Mexicana de ciencia y tecnología de Superficies y Materiales. Pág 2-4.
20. Hemery, F.X. (1981). Mamona: Comportamento e tendência no Brasil. Brasília: EMBRAPA – DTC. EMBRAPA – DCT: Documento 2, 69 p.
21. Lang X., *Preparation and characterization of biodiesel from various bio-oils*. Bioresource Technology., 2001. Vol. 80: p. 53-62.
22. Leung, D., Xuan, W. y M.K. H. Leung. 2009. A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. Department of Mechanical Engineering. The University of Hong Kong. Pokfulam Road, Hong Kong, China. Pág 2
23. Liu X., P.X., Wang Y., Zhu S., He H., *Calcium methoxide as a solid base catalyst for the transesterification of soybean oil to biodiesel with methanol*. 2008. Vol. 87: p. 1076-1082

24. Meher, L.C., Vidya, S. D. y S.N. Naik. 2004. Technical aspect of biodiesel production by transesterification. Centre for Rural Development and Technology. Pag 1-2. Petroleo, I.M.d., 2009.
25. Montoya Coronado Lope 2010. El cultivo del cártamo en México. Inifap sonora.
26. Ramadhas, A., Jayaraj, S. y C. Muraleedharan. 2004. Biodiesel production from high FFA rubber seed oil. Department of Mechanical Engineering, National Institute of Technology Calicut. Pag 1-2.
27. Recalde P.E y Duran ,A.M. 2009. Cultivos energéticos Alternativos. Centro Iberoamericano de investigación y transferencia de tecnología en oleaginosas. Ecuador, pág. 39-58.
28. Revista Claridades Agropecuarias. Consultado en [www. Infoaseca.gob.mx](http://www.infoaseca.gob.mx) 2012.
29. Savy Filho, A.; Benzatto, N.V.; Bondoz, M.Z. (1999). Mamona. In: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. Oleaginosas no Estado de São Paulo: Análise e diagnóstico. Campinas. CATI: Documento Técnico 107, pp. 29-39.
30. SEMARNAT-INE-UNAM, 2008. Análisis integrado de las tecnologías, el ciclo de vida y la sustentabilidad de las opciones y escenarios para el aprovechamiento de la bioenergía en México.
31. Sharma Y. C., S.B., Upadhyay S. N.,; *Advancements in development and characterization of biodiesel: A review*. 2008. Vol. 87: p. 2355-2373.
32. Sharma, Y.C., Singh, B. y S.N. Upadhyay. 2008. Advanced in development and characterization of biodiesel. Environmental Engineering and Research Laboratories, Department of Applied Chemistry, Institute of Technology, Banaras Hindu University, Varanasi, UP 221 005, India Pág 12
33. Távora, F.J.A. (1982). A cultura da mamona. Fortaleza: EPACE, 111 p.
34. Tomasevic A. V., S.-M.S.S., *Methanolysis of used frying oil*. Fuel Processing Technology., 2003. Vol. 81: p. 1-6.

35. Uribe Gómez Morayma, tesis “SIMULACIÓN DE UNA PLANTA PILOTO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL EN EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA ESQIE”.
36. Veljkovic V. B., L.S.H., Stamenkovic O. S., Todorovic Z.B., Lazic, M. L.,, *Biodiesel production from tobacco (Nicotiana tabacum L.) seed oil with a high content of free fatty acids*. 2006. Vol. 85: p. 2671-2675.
37. Wang Y., O.S., Liu P., Xue F., Tang S.,, *Comparison of two different processes to synthesize biodiesel by waste cooking oil*. Journal of Molecular Catalysis A: Chemical., 2006. Vol. 252: p. 107–112.
38. Weiss. E.A. (1983). Oilseed Crops. Longman, London, 660 p.

9. Anexos

Anexo 1. Tratamiento de la materia prima para la obtención de la semilla de higuera.



Figura 1. Colecta de la materia prima



Figura 2. Tratamiento de la semilla



Figura 3. Tratamiento de la semilla



Figura 4. Semilla de higuera

Caracterización de dos variedades de aceite de higuera silvestre, para producción de biodiesel en el Valle del Mezquital.

Anexo 2. Extracción de aceite de higuera.



Figura1. Semilla de higuera



Figura2. Molienda de la semilla.



Figura3. Tratamiento térmico de la semilla



Figura 4. Prensa donde se preno la semilla de higuera.



Figura 5. Aceite de higuera.



Figura 6. Semilla después de prensada.

Caracterización de dos variedades de aceite de higuera silvestre, para producción de biodiesel en el Valle del Mezquital.

Anexo 3. Elaboración de biodiesel a partir del aceite de higuera (*Ricinus Comunnis*)



Figura1. Aceite de Higuera.

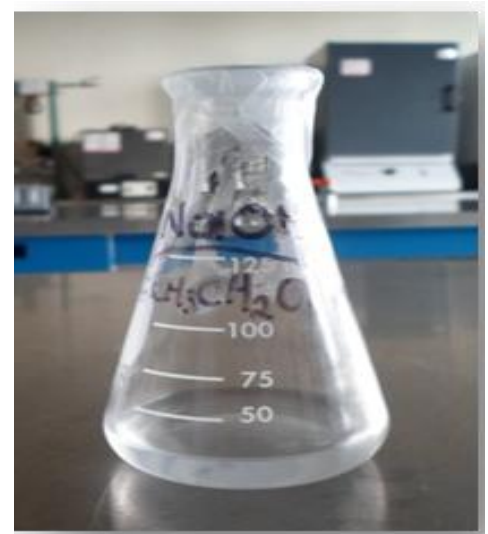


Figura 2. Etoxido para la reacción de transesterificación



Figura 3. Toma de parámetros



Figura 4. Mezcla de etoxido y aceite para la producción de biodiesel.

Caracterización de dos variedades de aceite de higuera silvestre, para producción de biodiesel en el Valle del Mezquital.



Figura 5. Biodiesel de aceite de higuera.

Anexo 4. Determinación de humedad y cenizas en semilla de higuera.



Figura. Crisoles con muestra para humedad.

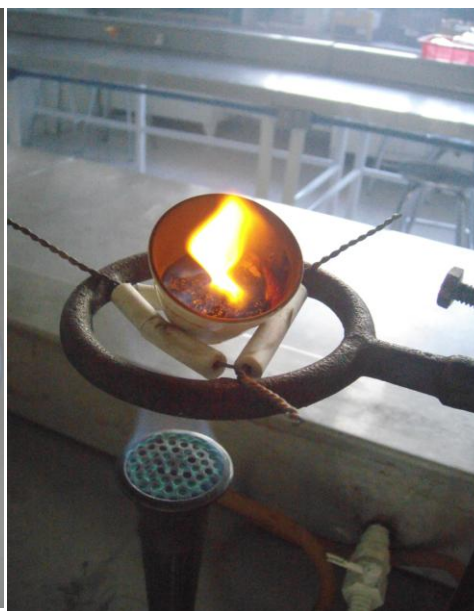


Figura proceso de cenizas en higuera

Caracterización de dos variedades de aceite de higuera silvestre, para producción de biodiesel en el Valle del Mezquital.



Figura. Mufla donde se determino cenizas en higuera



Figura xx. Cenizas en higuera

Anexo 6. Determinación de grasa en la semilla.



Figura. Equipo de goldfish



Figura. Muestra en extracción de grasa