

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”**



**DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL  
DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN Y ALIMENTOS**

**“FACTIBILIDAD DEL USO DE ACEITE DE MEZQUITE PARA LA PRODUCCION DE  
BIODIESEL”**

**Por:**

**MANUEL JAIME SUAREZ MEZQUITIC**

**TESIS**

**Presentada como Requisito Parcial para**

**Obtener el Título de:**

**INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.**

**Noviembre de 2013**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**

**DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN Y ALIMENTOS**

**“FACTIBILIDAD DEL USO DE ACEITE DE MEZQUITE PARA LA PRODUCCION DE BIODIESEL”**

**TESIS:**

**Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador**

**Como requisito parcial para obtener el título de:**

**INGENIERA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

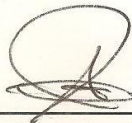
**Presentada por:**

**MANUEL JAIME SUAREZ MEZQUITIC**

**APROBADA:**

  
\_\_\_\_\_  
**Dra. Ana Verónica Charles Rodríguez**

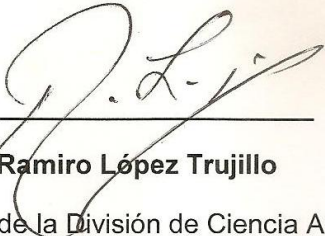
Asesor principal

  
\_\_\_\_\_  
**Dra. Ma. De Lourdes Díaz Jiménez**

Coasesor

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Salvador Carlos Hernández**

Vocal

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Ramiro López Trujillo**

Coordinador de la División de Ciencia Animal

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.**

**Noviembre de 2013**



## **AGRADECIMIENTOS**

Dedico esta tesis a:

Dios, por lo que me ha permitido realizar.

Mi madre: Felpa Mezquitic Yáñez.

Mi padre: Ramiro Suárez Martínez.

Mi esposa: Mercedes Díaz Jasso.

Mi hijo: Brandon Manuel Suarez Díaz.

A mis hermanos: Yezica Yadira Suárez Mezquitic

Alejandro Adib Suárez Mezquitic

Juan Ramiro Suárez Mezquitic

Luis Gerardo Suárez Mezquitic

Mi amigo de siempre: Jesús Miguel Ángel Hernández Vázquez

AGRADECIMIENTO PARA: Dra.: Ma. de Lourdes Díaz Jiménez

Dra.: Ana Verónica Charles Rodríguez

## Contenido

INTRODUCCION .....	6
CAPÍTULO 1 .....	7
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	7
1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	7
1.3. HIPÓTESIS .....	7
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	7
CAPÍTULO 2 .....	8
2.1. CARACTERISTICAS GENERALES DE LA PLANTA.....	8
2.1.1. CLASIFICACIÓN BOTÁNICA DEL MEZQUITE ( <i>Prosopis spp.</i> ).....	8
2.1.2. DESCRIPCION MORFOLÓGICA.....	9
2.1.3. REPRODUCCIÓN .....	10
2.1.4. ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN.....	10
2.2. IMPORTANCIA ECONÓMICA Y USOS DEL MEZQUITE.....	11
2.3. PRINCIPALES FUENTES DE EXTRACCIÓN DE ACEITES VEGETALES.....	166
2.3.1. ACEITE DE CANOLA.....	16
2.3.2. ACEITE DE COCO.....	16
2.3.3. ACEITE DE MAIZ.....	16
2.3.4. ACEITE DE SEMILLA DE ALGODÓN .....	17
2.3.5. ACEITE DE OLIVA: .....	17
2.3.6. ACEITE DE PALMA .....	17
2.3.7. ACEITE DE CACAHUATE .....	17
2.3.8. ACEITE DE CARTAMO .....	188
2.3.9. ACEITE DE GIRASOL .....	18
2.4. METODOS DE EXTRACCION DE ACEITES VEGETALES .....	18
2.4.1. EXTRACCION MECÁNICA .....	18
2.4.2. EXTRACCION POR ARRASTRE DE VAPOR.....	18
2.4.3. EXTRACCION CON SOLVENTE.....	19
2.5. BIODIESEL .....	20
2.5.1. VENTAJAS DEL BIODIESEL.....	20
2.5.2. DESVENTAJAS DEL BIODIESEL.....	23
2.6. CÓMO SE OBTIENE EL BIODIESEL.....	23

2.6.1. CARACTERISTICAS DEL BIODIESEL .....	24
2.7. PRINCIPALES VENTAJAS AMBIENTALES.....	25
2.8. PRODUCCION DEL BIODIESEL EN EL MUNDO Y MEXICO .....	25
2.9. FUENTES DE OBTENCIÓN DEL BIODIESEL.....	27
2.9.1. ACEITES VEGETALES CONVENCIONALES .....	28
2.9.2. ACEITES VEGETALES ALTERNATIVOS.....	28
2.9.3. ACEITES VEGETALES MODIFICADOS GENÉTICAMENTE.....	29
2.9.4. ACEITES DE FRITURA USADOS.....	29
2.9.5. GRASAS ANIMALES.....	29
2.9.6. ACEITES DE OTRAS FUENTES .....	30
CAPÍTULO 3.....	31
3.1. MATERIALES Y METODOS.....	31
3.1.1. RECOLECCION DE MATERIA PRIMA.....	31
3.1.2. PRETRATAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA .....	31
3.1.3. ANALISIS FISICO Y QUIMICO DE LA MATERIA PRIMA.....	32
3.1.3.1. MATERIA SECA PARCIAL.....	32
3.1.3.2. MATERIA SECA TOTAL .....	32
3.1.3.3. CENIZAS .....	33
3.1.3.4. PROTEÍNA .....	33
3.1.3.5. EXTRACTO ETÉREO O GRASA.....	34
3.1.3.6. FIBRA CRUDA.....	35
3.1.3.7. DETERMINACION DE METALES EN LAS CENIZAS POR ABSORCION ATOMICA .....	35
3.2. EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE MEZQUITE .....	36
3.3. FACTIBILIDAD DEL USO DE ACEITE DE MEZQUITE PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL.....	37
CAPÍTULO 4.....	389
4.1. RESULTADOS .....	389
4.1.1. MATERIA PRIMA.....	389
4.1.2. ANÁLISIS BROMATOLÓGICOS DE LAS MUESTRAS ANALIZADAS .....	390
4.1.3. ACEITE DE SEMILLA DE MEZQUITE.....	401
CONCLUSIONES .....	423
PERSPECTIVAS .....	423
BIBLIOGRAFÍA.....	434



## INTRODUCCION

El mezquite es una de las especies presentes en gran parte de los ecosistemas áridos y semiáridos de México. En San Luis Potosí, aunque esta especie se encuentra tanto en las Zonas Media y Altiplano en una superficie de 193,800 ha, la sobrexplotación debido principalmente a cambios en el uso del suelo para obtener leña combustible, madera y otros usos, han diezclado notoriamente sus poblaciones. En la perteneciente a la zona media de San Luis Potosí, se encuentran mezquiteras con una superficie de 50,000 ha con un estrato arbóreo dominante de mezquite, aunque con diferentes grados de disturbio, muy intenso en determinados sitios debido a la explotación extraordinaria de leña, que alcanza una tasa anual cercana a los 10,000 m<sup>3</sup> y para fabricación de muebles por encima de 1000 m<sup>3</sup>; así como al sobrepastoreo y otros usos del suelo.

Entre los usos del mezquite destaca el de la leña para fines combustibles, madera para fabricación de muebles, carbón, postes para cercos, vaina como forraje, goma, y la flor para fines apícolas, entre otros. El sistema agroforestal, es un esquema de manejo que incrementa la producción de la tierra, al combinar la producción de diferentes cultivos agrícolas con la producción de árboles y de ganado ya sea en forma simultánea o secuencial y en una misma unidad de terreno, lo que significa, la integración de la agricultura, ganadería y la actividad forestal. El sistema agroforestal de tipo silvopastoril consiste en el aprovechamiento de forrajes en las poblaciones o plantaciones forestales, utilizando especies de árboles de sombra en pastizales y/o mejoradores de la fertilidad, así como utilización de árboles frutales en pastizales o para la producción de nuevos combustibles como el biodiesel a partir del aceite del fruto de la planta.

**Palabras clave: mezquite, biodiesel**

# **CAPÍTULO 1**

## **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la factibilidad técnica económica del uso del aceite de mezquite para producción de biodiesel.

## **1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Caracterizar bromatológicamente la semilla de mezquite.
- Extraer el aceite de la semilla de mezquite por extracción con solventes.
- Hacer una evaluación de la factibilidad de usar el aceite de mezquite como materia prima para la obtención de biodiesel.

## **1.3. HIPÓTESIS**

El mezquite es una fuente potencial de aceite comestible para el uso de industria alimentaria y para uso de combustible

Las semillas de mezquite contienen un 18.5 % a 39 % de aceites que pueden ser usados en la obtención de biodiesel.

## **1.4. JUSTIFICACIÓN**

La semilla compete por su contenido de aceite sobre las oleaginosas de exportación actual, y de la misma manera cabe resaltar que esta especie no requiere de cuidado y mantenimiento porque es desértica y además no invasiva.

La semilla no es utilizada en ninguna de las áreas de la industria alimentaria, y sería una fuente de materia prima para la obtención de biodiesel para consumo interno en las actividades agrícolas de la zona de estudio.



## CAPÍTULO 2

### 2.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA PLANTA

Los mezquites (del náhuatl *mizquitl*) son especies botánicas de leguminosas del género *Prosopis*. El mezquite (*Prosopis spp.*), es uno de los principales representantes vegetales en las regiones de clima seco, forma parte de la flora del árido mexicano y se clasifica dentro del tipo de vegetación de “matorral mediano espinoso o bosque caducifolio espinoso”. Sus rodales frecuentemente son llamados “mezquiales” [Rzedowski, 1981, 2001].

Las especies del género *Prosopis spp.* han constituido un recurso trascendental para la vida del hombre, su utilización ha continuado a través del tiempo por los indígenas, colonizadores, pioneros y pobladores rurales actuales. Por eso se considera uno de los recursos vegetales más útiles de las zonas áridas; ya que de él se han obtenido: leña, carbón, goma, materiales de construcción, alimento, forraje, néctar para la apicultura, sombra, herramientas de trabajo y medicina.

Un problema que ha afectado a este género es el uso desmedido, que ha llevado a una degradación acelerada de las comunidades de mezquite. Lo anterior se ha reflejado, no sólo en la pérdida del recurso en sí, sino que se ha agravado con el mayor deterioro de los suelos y afectación de las aguas subterráneas de las cuencas hidrológicas; estos fenómenos han conducido a la alteración del equilibrio ecológico de los frágiles ecosistemas de las zonas de mezquiales.

#### 2.1.1. CLASIFICACIÓN BOTÁNICA DEL MEZQUITE (*Prosopis spp.*)

El polimorfismo presente en el género *Prosopis* se origina por las variadas condiciones ambientales en que se desarrolla y por su misma plasticidad genética, lo que ha dado lugar a cruzamientos naturales, dificultando la determinación de la taxonomía del mezquite. En la Tabla 1 se presenta la clasificación taxonómica del mezquite (Burkart, 1976)].

**Tabla 1.** Clasificación taxonómica del mezquite

REINO:	VEGETAL
PHILUM:	SPERMATOPHYTES
SUBPHILUM:	ANGIOSPERMA
CLASE:	DICOTILEDONEA
FAMILIA:	LEGUMINOSAE
SUBFAMILIA:	MIMOSOIDEAE
GENERO:	PROSOPIS
ESPECIE:	LAEVIGATA

### 2.1.2. DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA

El mezquite es un arbusto o árbol espinoso perenne que llega a medir hasta 10 metros de altura, cuyo desarrollo depende de las condiciones del suelo (Figura 1).



Figura 1. Árbol de Mezquite (*Prosopis spp.*)

**RAIZ:** Posee un sistema radicular amplio y profundo. Su raíz principal puede alcanzar profundidades de más de 50 m, y sus raíces laterales se extienden hasta 15 m a los lados del árbol.

**TRONCOS Y RAMAS:** La especie posee troncos de corteza oscura o negruzca y ramas flexuosas formando una copa esférica o deprimida. Los tallos más delgados son espinosos, frecuentemente áfilos y provistos de abundante parénquima cortical que hace que las funciones de las hojas atrofiadas o caducas. Las espinas generalmente son abundantes, axilares o terminales.

**HOJAS:** Son compuestas, bipinnadas, con 12 a 15 pares de folíolos oblongos o lineares, de 5 a 10 mm de largo, más o menos persistentes, pero caducas en invierno, tiene pequeñas estípulas que luego secan y caen. Únicamente presenta un par de pinnas por hoja. La época de formación de renuevos se extiende desde marzo hasta mayo; los folíolos permanecen en la planta de abril a diciembre.

**FLORES:** Éstas son de color amarillo verdoso; se encuentran agrupadas en inflorescencias en racimos en forma de espiga. Las flores son sumamente pequeñas, miden de 4 a 10 mm y están situadas sobre pedúnculos de 1 a 2 mm, producen un aroma y néctar agradable, indispensable para la polinización. Son bisexuales, actinomorfas, con 5 sépalos y 10 estambres. Los estambres son rectos, divergentes y con un tamaño doble al de la corola; el ovario está cubierto por filamentos sedosos. El pistilo tiene una forma de urna y el estilo de cilindro; el ovario es súpero, unilocular, unicarpelar y de placentación parietal; el estigma es cóncavo. El mezquite florece durante un lapso corto que inicia entre febrero y marzo y termina entre abril y mayo. La época de floración coincide con la brotación de los folíolos.

**FRUTOS:** los frutos son vainas o legumbres en forma de lomento drupáceo, alargadas, rectas, arqueadas y en algunos casos espiraladas, indeshiscentes, de 10 a 30 cm de longitud. Pueden ser

planas o cilíndricas en la maduración y contienen de 12 a 20 semillas. La cáscara o pericarpio es coriácea, de color paja o rojizo-violáceo. El mesocarpio presenta una pulpa gruesa y esponjosa, de sabor dulce, que envuelve el endocarpio el cual está articulado en pequeños compartimientos donde se alojan las semillas, dispuestas en una hilera ventral.

La fructificación se extiende durante los meses de mayo a agosto. Las vainas se desarrollan en cuanto la flor ha sido fecundada, empiezan a madurar en el mes de junio, en tal forma que para el mes de agosto han adquirido una forma abultada y toman un color paja. La cosecha se realiza a partir de agosto hasta el mes de octubre.

**SEMILLA:** Es de forma oblonga o aplastada y dura. Su coloración varía desde café claro al obscuro, según la especie, variedad y el sitio donde se produce. La diseminación de las semillas es zoófila y endozóica, es decir, a través del tracto digestivo de animales [Conaza e INE, 1994].

### 2.1.3. REPRODUCCIÓN

La reproducción puede ser sexual o por semilla. La reproducción del mezquite en condiciones naturales es únicamente por medio de semilla. La semilla es la parte más vulnerable en el ciclo de vida de *Prosopis*, debido a la cantidad de agua tan limitada que proviene del ambiente desértico. La dispersión de la semilla es endozóica, a través del tracto digestivo de animales como los ovicaprinos, lo cual sirve como función dual ya que la semilla es alejada del árbol progenitor y los parásitos internos de la semilla son neutralizados por los fluidos digestivos, además, proporciona un benéfico trabajo de escarificación que hace que la germinación se lleve a cabo en un menor tiempo.

Reproducción asexual vegetativa. De todas las especies de *Prosopis* que se distribuyen en México, sólo *P. reptans* var. *cinerascens* presenta una propagación vegetativa a través de sus órganos subterráneos. Aunque se han realizado estudios sobre la reproducción del mezquite por medio del enraizamiento de estacas, ésta no ha resultado del todo satisfactoria; además el mezquite presenta una abundante producción de semillas, por lo que la reproducción por semilla se considera la más recomendable. <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/72/cultivo.html>

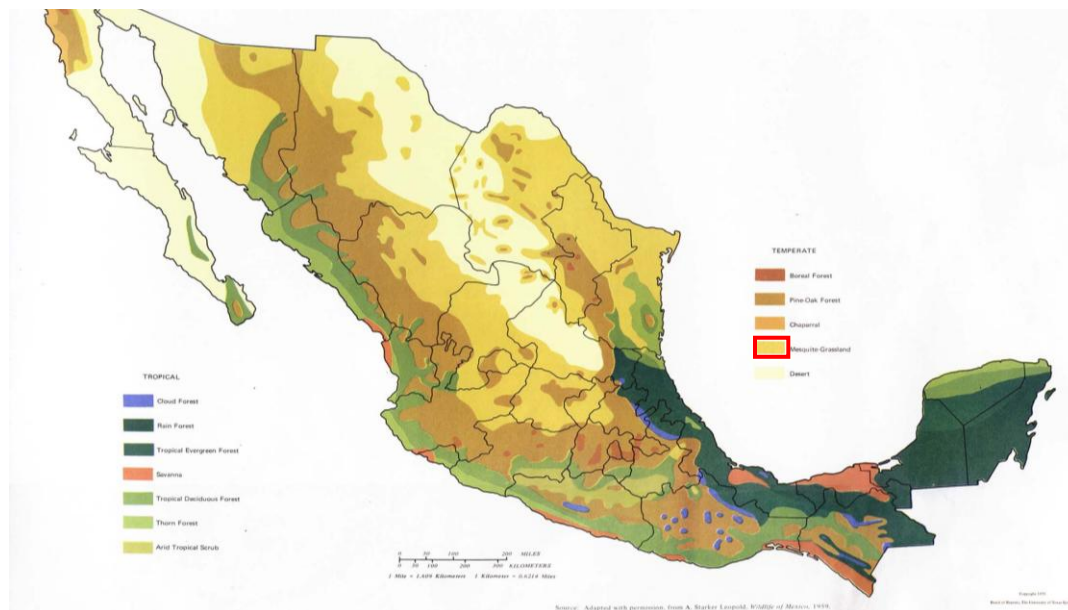
### 2.1.4. ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN

El género *Prosopis* se encuentra en una gran variedad de suelos y climas. Su origen fitogeográfico se ubica en África donde persiste como una sola especie (*Prosopis africana*), con características poco especializadas [Dávila, 1983].

A nivel mundial existen 44 especies del género *Prosopis*, 42 de las cuales se encuentran en el continente americano, distribuidas en dos grandes centros: el norteamericano (mexicano-tejano) y el suramericano (argentino-paraguayo-chileno). El complejo norteamericano, de acuerdo con Rzedowski (1988), cuenta con 9 especies, una con 2 variedades, todas ellas presentes en México y

su distribución geográfica es muy amplia. Las especies más comunes son: *Prosopis juliflora*, *P. palmeri* (palo fierro), *P. laevigata*, *P. glandulosa* y *P. pubescens*.

En México, se encuentra en zonas áridas y semi-áridas del centro-sur del país, donde su abundancia da nombre a algunas regiones, tales como el Valle del Mezquital en Hidalgo. Los estados de la república que destacan por su producción forestal de mezquite son Sonora, San Luis Potosí, Tamaulipas, Guanajuato, Zacatecas, Durango, Coahuila y Nuevo León. De menor importancia son los estados de Aguascalientes, Baja California Sur, Chihuahua, Jalisco, Oaxaca, Querétaro y Sinaloa (Figura 2).



**Figura 2.** Distribución geográfica de Mezquite

## 2.2. IMPORTANCIA ECONÓMICA Y USOS DEL MEZQUITE

La madera del mezquite es fuerte y durable, buena para la fabricación de muebles, puertas, ventanas. Se usa en la fabricación de objetos decorativos y artesanías y es excelente como leña y carbón. Se considera como una de las maderas dimensionalmente más estable, con coeficiente de concentración total de 4 a 5 % comparado con otras maderas que tienen coeficientes de 8 a 15%. Su valor calorífico es de 5000 kcal/kg.

El mezquite tuvo crucial importancia en los primeros pobladores de las regiones áridas y semiáridas, por los usos que cada pueblo le dio. Los pueblos cazadores-recolectores, casi todos ellos nómadas, utilizaron al mezquite principalmente como alimento, combustible, sombra, para la elaboración de juguetes y utensilios y como planta medicinal.

En los años 1800-1900, se le encontraron diferentes usos, tales como; alimentación para el ganado doméstico, en la elaboración de carbón, como flora para la explotación de abejas, en la extracción de gomas y como material para vivienda.

En la actualidad, el mezquite sigue presentando los mismos usos, por lo que es considerado como recurso natural de importancia en las zonas áridas y semiáridas de nuestro país.

**MADERA:** Se utiliza en forma de brazuelos, tablas y tablones, postes para cerca, trozas en rollo y durmientes. Además se usa en la elaboración de muebles artesanales, destacando los trabajos de marquetería con madera de mezquite (Figura 3)



**Figura 3.** a) Madera de mezquite. b) Muebles elaborado con madera de mezquite

Entre las principales características físicas de la madera del mezquite se destaca su albura de color amarillo claro, que forma un anillo de media pulgada alrededor del duramen, que es de color café rojizo. La madera es dura, de grano cerrado, que toma un brillo hermoso al pulirla. Sin embargo, la madera es quebradiza y con poca resistencia a la flexión, estas características limitan su uso comercial. El contenido del duramen es de 65-80 % [Durso *et al.*, 1973].

La madera de mezquite tiene un peso específico de 0.76 y la de la raíz es aún más dura. Debido a estas características, la madera de mezquite es usada para la manufactura de artefactos que necesitan ser muy resistente como muebles, parquet, duela, hormas para zapatos, mangos de herramienta y utensilios de cocina, además es muy utilizada para la construcción en las zonas rurales [Signoret, 1970].

**LEÑA Y CARBÓN:** Dentro de los usos maderables de la especie se encuentra el uso como leña, el cual es uno de los principales rubros de la explotación, ya que el mezquite es considerado el recurso leñoso por excelencia en las comunidades rurales de zonas áridas y semiáridas, donde en las viviendas se utiliza como combustible (Figura 4)



**Figura 4.** Carbón de mezquite

El principal uso de la leña del mezquite es para la preparación de alimentos o calentamiento. En segundo lugar, se tiene el calentamiento de agua y de hornos, y para la calefacción del hogar. Más del 75% de los usuarios de este energético no comercial, lo consume en el llamado fogón abierto o de tres piedras, cuya eficiencia térmica es muy baja.

La forma más usual de aprovechamiento de leña es la conocida como leña en raja, sin que exista una metodología específica para realizar el aprovechamiento, aunque puede observarse que las partes usadas, casi siempre, son las ramas (Figura 5).



**Figura 5.** Leña de mezquite

Las comunidades rurales hacen acopio de leña a partir de los mezquites silvestres que tienen en su localidad; usualmente colectan los volúmenes suficientes para un plazo corto. Además, suelen realizar por temporadas un aprovechamiento de leña de mezquite para su comercialización.

Otro producto del mezquite de gran importancia económica es el carbón, el cual se produce cuando se calienta la madera en ausencia de aire (pirólisis) y se controla la entrada del mismo (combustión). Este sistema de carbonización es el más antiguo, en el cual se usa la tierra como escudo contra el oxígeno, como aislante de la madera en el proceso de carbonización contra una pérdida excesiva de calor.

En este sistema que comúnmente se conoce como carbonización en “chavete”, el rendimiento de carbón es bajo (12-14 %), mientras que en hornos de mampostería o metálicos, el porcentaje aumenta hasta el 20 %. Además, en estos últimos, se recogen gases y líquidos producidos en el proceso (gas, combustible, alcohol metílico, ácido acético, ésteres, acetona, aceites de madera, alquitrán ligero, aceite de creosota y brea).

**USO MEDICINAL:** La infusión de algunas partes de la planta se usa para combatir la disentería; el cocimiento de las hojas (bálsamo de mezquite) se emplea para combatir algunas afecciones de los ojos. El cocimiento de la corteza es vomitivo-purgante, se sabe que sus extractos en alcohol de las hojas frescas y maduras han mostrado una marcada acción antibacterial contra *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*.

**ALIMENTACIÓN ANIMAL:** Dentro de la explotación no maderable, el producto principal del mezquite es la vaina, dado que su recolección representa un ingreso adicional para los campesinos de las regiones donde es aprovechado, a la vez que constituye un elemento de buena calidad en la alimentación del ganado.

El consumo de la vaina contribuye a disminuir el costo de las raciones alimenticias que son suministradas al ganado bovino lechero y en especial al de engorda, así como al porcino y caprino y como menor intensidad, al caballar, asnal y mular.

La vaina y harina del mezquite son aprovechadas para alimento de diversos tipos de ganado, sin embargo, tiene mayor demanda en la preparación de concentrados que se suministran al ganado lechero, mantenido bajo el régimen de estabulación o de media estabulación. La vaina del mezquite (Figura 6) también es apreciada para engorda de ganado como Hereford, Angus, Aberdeen y criollos.



**Figura 6.** Vaina de mezquite en su punto de recolección

El principal valor forrajero del mezquite radica en el fruto, aunque los animales inclusive ramonean las ramas tiernas. En otros lugares, el mezquite proporciona sombra a los animales, que es muy necesaria en las regiones de altas temperaturas.

El aprovechamiento del fruto del mezquite se lleva a cabo mediante la recolección manual de la vaina. Aunque comúnmente las vainas son retiradas de los árboles, se da el caso de la recolección en el piso.

La época de cosecha se presenta en los meses de julio a septiembre, lo cual es de gran importancia para los campesinos de las zonas áridas y semiáridas. El aprovechamiento de este recurso contribuye a aliviar la precaria situación de algunas familias en esta época del año que es cuando la sequía suele acabar por completo con los cultivos de temporal y los forrajes de los agostaderos. Se ha observado que una familia puede recolectar entre 200 y 250 kg de vaina diarios.

Los frutos de mezquite contienen una riqueza nutrimental muy importante (Tabla 2) [Zolfaghari y Harden, 1982]. Destaca su alto contenido en carbohidratos y proteínas, lo cual lo posiciona como una excelente fuente de alimento pecuario. De los carbohidratos totales, el 20.7 % corresponde a sacarosa. Adicionalmente, el fruto es rico en potasio, calcio y cloruro.

**Cuadro 2.** Composición nutrimental de fruto de mezquite ( % peso en base seca)

Muestra	Proteínas (nx6.25)	Grasa Cruda	Ceniza	Fibra Cruda	Carbohidratos Totales
Fruto Verde	13.26	2.23	3.88	35.33	80.63
Fruto Maduro	13.35	2.87	3.4	24.73	80.38
Semilla	39.34	4.91	3.61	6.86	52.14
Pericarpio	7.02	2.08	3.62	29.63	87.08

**GOMAS:** Cuando el mezquite es herido en su corteza o ramas, o por la aspersion de 2-4-5-T, produce un exudado conocido como goma de mezquite, la cual se ha examinado para determinar su semejanza con la goma arábica.

Dos tipos de goma son exudados del mezquite. Un tipo de goma es blanco o de color ámbar, muy similar a la goma arábica. El otro tipo de goma es negra, firme, quebradiza y astringente al gusto, que es usada como colorante y se ha reportado que contiene 20% de taninos. Todo esto sugiere la posibilidad de utilizar la goma de mezquite en lugar de las gomas importadas [Durso et al., 1973].



## 2.3. PRINCIPALES FUENTES DE EXTRACCIÓN DE ACEITES VEGETALES

En el reino vegetal se pueden encontrar cientos de tipos de semillas oleaginosas, sin embargo, solo son unas pocas las cuales son utilizados en la industria alimentaria. En la Tabla 3 se mencionan las de mayor uso en la industria de los alimentos.

**Cuadro 3.** Aceites de mayor aplicación en la industria alimenticia.

<b>Canola</b>	<b>Cártamo</b>
<b>Coco</b>	Girasol
<b>Maíz</b>	Pepita de uva
<b>Semilla de algodón</b>	Cacao
<b>Oliva</b>	Ajonjolí
<b>Palma</b>	Soya
<b>Cacahuete</b>	Linaza

### 2.3.1. ACEITE DE CANOLA

Se denomina aceite de canola a aquel obtenido a partir de una variedad relativamente nueva de colza. Este tipo de aceite comestible ha sido más importante en países como Canadá, Rusia y Finlandia.

La clave de aceptación de la canola es su bajo contenido en ácidos grasos saturados (alrededor del 6%). Debido a cuestiones de salud, es posible que la canola pueda llegar a convertirse pronto en la segunda fuente de aceite vegetal importante. Es utilizado en la fabricación de aceite de mesa y cocina.

Más recientemente, se ha evaluado su potencial en la obtención de biodiesel, sin embargo, su uso alimentario limita en gran medida su aplicación como materia prima para combustibles.

### 2.3.2. ACEITE DE COCO

Se considera como una grasa, ya que es sólido a temperatura ambiente y a temperatura de 26.5°C se convierte en aceite líquido. Presenta altos porcentajes de ácido láurico. Presenta un punto de fusión brusco (24.4 -25.6°C), debido a un elevado contenido de ácidos grasos de bajo peso molecular. Sin embargo, es resistente a los fenómenos oxidativos en condiciones normales de almacenamiento, haciendo de él un buen producto.

### 2.3.3. ACEITE DE MAÍZ

A pesar de que el maíz es uno de los principales cultivos de los Estados Unidos, solo una pequeña proporción es usada para la obtención de aceite. La mayor parte es producida del sub producto (almidón de maíz). El uso principal es en la elaboración de margarinas de aceite de maíz. Presenta

bajos niveles de ácidos grasos saturados, entre los que se encuentran el ácido palmítico y el esteárico, con concentraciones promedio de 11 y 2%, respectivamente. En cambio, contiene relativamente altos niveles de ácidos grasos poliinsaturados (ácido linoléico, 55%).

#### **2.3.4. ACEITE DE SEMILLA DE ALGODÓN**

Se obtiene a partir de la semilla del algodón. El aceite de la semilla del algodón bruto tiene un olor y sabor fuerte y un color oscuro marrón-rojizo. Sin embargo, estos son utilizados en algunos aceites para margarina, como aceite de ensalada y para freír. El 20% de producción total de este aceite se origina de la semilla de algodón [Robles, 1985].

#### **2.3.5. ACEITE DE OLIVA:**

Importante en el cocinado y en la preparación de ensaladas. El aceite de oliva virgen es un aceite que no ha sido desodorizado para eliminar los elementos naturales del aceite de oliva. Contiene alrededor del 71% de ácido oléico (octadecanoico / monoinsaturado).

En la composición del aceite de oliva están presentes los tres tipos de ácidos grasos:

- Saturados (palmítico)
- Monoinsaturados (oléico)
- Poliinsaturados (linoléico y linolénico).

#### **2.3.6. ACEITE DE PALMA**

Es un aceite semisólido extraído del dátil de palma, y es uno de los más importantes en el ámbito comercial internacional, su uso ha crecido en corto tiempo. Cabe mencionar que este aceite contiene alrededor del 50% de ácidos saturados. Es usado como parte de la porción de grasa-aceite de shortening y margarina. También es usado como aceite de cocina en los países de Oriente y Europa.

#### **2.3.7. ACEITE DE CACAHUATE**

Es un aceite comestible con escasa importancia en los E.E. U.U. También tiende a ser un producto demasiado caro en relación con su uso potencial, fundamentalmente para fritura en profundidad y como aceite de cocina. Alrededor del 40 -50% de la modesta producción de aceite de cacahuate en los Estados Unidos es destinado al mercado de exportación.

### **2.3.8. ACEITE DE CARTAMO**

Contiene altos contenidos de ácido linoléico (poliinsaturado), alrededor del 75-80%, que es el contenido más elevado en los aceites existentes en el comercio, y un 15 % de ácido oléico (monoinsaturado).

### **2.3.9. ACEITE DE GIRASOL**

El aceite de girasol tiene un elevado porcentaje de ácidos grasos insaturados (90%), que incluye un 55-60% de poliinsaturados como linoléico y alrededor de un 30% monoinsaturados como el ácido oléico [Lawson, 1999].

## **2.4. METODOS DE EXTRACCION DE ACEITES VEGETALES**

Existen varios métodos de extracción, sin embargo, la elección del mismo es muy importante, ya que influye en la cantidad que puede extraer.

Las semillas oleaginosas deben ser limpias por lo que es recomendable que sean descascarilladas previamente, después son trituradas y molidas antes de su extracción por cualquiera de los sistemas existentes. Los aceites pueden ser extraídos por métodos físicos o químicos.

### **2.4.1. EXTRACCION MECÁNICA**

Dentro de este método de extracción, las semillas molidas pasan a un acondicionador para obtener un producto homogéneo que pasa a la prensa de tornillo, donde a elevadas presiones y en un solo paso se procede a la separación del aceite de la harina protéica. El aceite obtenido es limpiado de impurezas groseras en un tamiz vibratorio. El abrillantamiento y limpieza final del aceite se lleva a cabo en un filtro del cual se obtiene un aceite crudo filtrado [Lawson, 1999].

### **2.4.2. EXTRACCION POR ARRASTRE DE VAPOR**

En la obtención de aceite por arrastre de vapor, se hace pasar una corriente de vapor a través de la harina y/o materia prima y los componentes que son solubles en el vapor son separados (Figura 7). Entre las sustancias que se pueden separar por esta técnica se pueden citar los aceites esenciales de bajo peso molecular como el aceite esencial de orégano [Bailey, 1945].



**Figura 7.** Esquema de extracción por arrastre de vapor

### 2.4.3. EXTRACCION CON SOLVENTE

El principio en que se basa este método de extracción es muy sencillo: la materia prima seca y reducida a escamas, se pone en contacto con un disolvente adecuado (Figura 8). Ese disolvente diluye el aceite separándolo de la llamada “miscella” de la que posteriormente, una vez separado del residuo extraído, se obtiene el aceite puro por evaporación del disolvente [Thieme, 1970].



**Figura 8.** Esquema de extracción con solventes

Dependiendo de la aplicación, este proceso de extracción puede ser el más recomendable, ya que el uso de solventes maximiza la extracción. El método tiene dos desventajas principales, la primera es que a pesar de ser el más eficiente, resulta muy caro, ya que el costo de los solventes es elevado. La otra desventaja es que no puede ser usado en la obtención de aceites para consumo alimentario, ya que la eliminación del solvente es un proceso que no alcanza el 100% de recuperación del solvente y pueden quedar trazas del mismo, las cuales implican un peligro para la salud del consumidor.

## 2.5. BIODIESEL

El biodiesel es un biocombustible líquido producido a partir de los aceites vegetales y grasas animales, siendo la colza, el girasol y la soja las materias primas más utilizadas en la actualidad para este fin. Las propiedades del biodiesel son prácticamente las mismas que las del gasóleo (gasoil) de automoción en cuanto a densidad y número de cetano. Además, presenta un punto de inflamación superior. Por todo ello, el biodiesel puede mezclarse con el gasóleo para su uso en motores e incluso sustituirlo totalmente si se adaptan éstos convenientemente.



**Figura 9.** Biodiesel

La definición de biodiesel propuesta por las especificaciones ASTM (American Society for Testing and Material Standard, -Asociación internacional de normativa de calidad) lo describe como ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales o grasas de animales, y que se emplean en motores de ignición de compresión.

Sin embargo, los ésteres más utilizados son los de metanol y etanol (obtenidos a partir de la transesterificación de cualquier tipo de aceites vegetales o grasas animales o de la esterificación de los ácidos grasos) debido a su bajo coste y sus ventajas químicas y físicas [[www.biodisol.com](http://www.biodisol.com)].

### 2.5.1. VENTAJAS DEL BIODIESEL

- **El biodiesel es un combustible ecológico que posee grandes ventajas medioambientales:**

El Biodiesel (ésteres alquílicos de ácidos grasos) no daña el medio ambiente por ser un combustible de origen vegetal en su estado 100% puro. Su uso en el referido estado sería completamente inocuo con nuestro medio.

Para poder usarse se debería efectuar unas pequeñas modificaciones técnicas en los motores diesel, como sería modificar el compuesto de la goma y/o cauchos de los manguitos y latiguillos del circuito del combustible. Ello es debido a que el biodiesel 100% tiene la particularidad de

disolver la goma. Desde los años 90, casi todos los fabricantes de vehículos (principalmente marcas alemanas), ya han sustituido dichos conductos fabricados con materiales plásticos o derivados, que el Biodiesel 100% puro no los disuelve.

- **Se produce a partir de materias primas renovables.**

El Biodiesel se produce a partir de aceites vegetales, vírgenes y reciclados. El aceite vegetal virgen se extrae de la semilla cultivada dejando atrás la harina de semilla que puede usarse como forraje animal. El aceite es refinado antes de incorporarlo al proceso de producción del biodiesel. Aunque existen más de trescientos tipos de oleaginosas, las más comunes en la producción de biodiesel son la colza, la soya, el girasol y la palma.

Los aceites reciclados proceden de la recogida de sectores como la hostelería, alimentarios, cocinas domésticas, etc.

Con el reciclaje de los aceites usados se evita su vertido, salvaguardando la contaminación de las aguas subterráneas, fluviales y marinas, así como la vida que en ellas habita. Y se evita su uso en la alimentación animal (piensos).

Con los aceites vegetales, se contribuye de manera significativa al suministro energético sostenible, lo que permite reducir la dependencia del petróleo, incrementando la seguridad y diversidad en los suministros, así como el desarrollo socioeconómico del área rural (producción de oleaginosas con fines energéticos), y la conservación del medio ambiente.

- **Prácticamente no contiene azufre.**

El Biodiesel no contiene azufre, agente que se encuentra en el gasóleo por su poder de lubricación. La emisión de compuestos sulfurados (SOx) al medio ambiente durante la combustión del carburante fomenta la concentración de estos compuestos en el aire generando por un lado las lluvias ácidas o contribuyendo al efecto invernadero.

En la actualidad los modernos gasóleos bajos en azufre, por su proceso de desulfuración pierden el poder de lubricación, incrementando el ruido y desgaste de los motores.

Las compañías petroleras deben por este motivo aditivar el gasóleo con aditivos químicos y sintéticos para paliar esa anomalía. En Francia se aditiva todo el gasóleo que se comercializa en EESS con Biodiesel al 2% como aditivo lubricador.

- **Mejora la combustión, reduciendo claramente emisiones de hollín.**

Dado que la molécula de biodiesel aporta, por unidad de volumen, más átomos de oxígeno que lo que aporta el mismo volumen de gasóleo convencional, la presencia de partículas no-quemadas es menor utilizando biodiesel dado que hay menos moléculas de carbono elemental (hollín) y menos de monóxido de carbono (CO). Existen estudios en los que se ha observado una reducción de hasta el 55% en hollín desapareciendo el humo negro y olor desagradable.

- **Produce, durante su combustión menor cantidad de CO<sub>2</sub> que el que las plantas absorben para su crecimiento (ciclo cerrado de CO<sub>2</sub>).**

El dióxido de carbono CO<sub>2</sub> que emite a la atmósfera el Biodiesel durante la combustión es neutro, ya que es el mismo que captó la planta oleaginosa utilizada para extraer el aceite durante su etapa de crecimiento. Con lo cual, la combustión de Biodiesel no contribuye al efecto invernadero, es neutra y ayuda a cumplir el protocolo de Kyoto.

- **No contiene ni benceno, ni otras sustancias aromáticas cancerígenas (Hidrocarburos aromáticos policíclicos).**

El Biodiesel, como combustible vegetal no contiene ninguna sustancia nociva, ni perjudicial para la salud, a diferencia de los hidrocarburos, que tienen componentes aromáticos y bencenos (cancerígenos). La no-emisión de estas sustancias contaminantes disminuye el riesgo de enfermedades respiratorias y alergias.

- **Es fácilmente biodegradable, y en caso de derrame y/o accidente, no pone en peligro ni el suelo ni las aguas subterráneas.**

El Biodiesel, es biodegradable. Se ha estimado que éste se degrada en un periodo promedio de 21 días. Su origen vegetal lo hace compatible con la naturaleza y la ausencia de compuestos químicos y sintéticos lo hace inocuo con el medio ambiente.

- **No es una mercancía peligrosa (el punto de inflamación se encuentra por encima de 110 °C).**

El Biodiesel tiene su punto de inflamación por encima de 110 °C, por eso no está clasificado como mercancía peligrosa, siendo su almacenamiento y manipulación segura.

- **Posee un alto poder lubricante y protege el motor reduciendo su desgaste así como sus gastos de mantenimiento.**

El Biodiesel por ser su origen los aceites vegetales, tiene un alto poder de lubricación, alargando la vida de los motores, reduciendo el ruido en los mismos, así como notablemente abaratando los costos de mantenimiento.

Así mismo como característica del Biodiesel, cabe reseñar el poder detergente, que mantiene limpios los sistemas de conducción e inyección del circuito de combustible de los motores.

- Es el único combustible no contaminante alternativo a los motores de gasóleo convencional.
- El Biodiesel, es el único combustible renovable alternativo en los motores diesel.

Por su composición vegetal, es inocuo con el medio, es neutro con el efecto invernadero, y es totalmente compatible para ser usado en cualquier motor diesel, sea cual sea su antigüedad y estado.

La mezcla que se comercializa, siguiendo las normativas europeas, cumple con todas y cada una de las especificaciones de Gasóleo de Automoción (EN-590), mejorando los parámetros deficitarios de dicha norma.

## 2.5.2. DESVENTAJAS DEL BIODIESEL

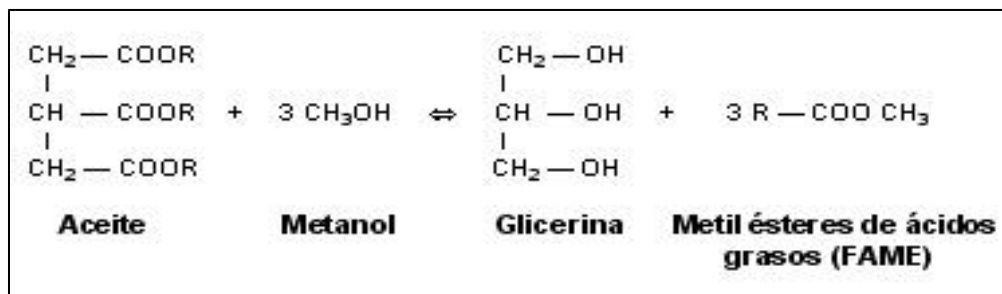
- A bajas temperaturas puede empezar a solidificar y formar cristales, que pueden obstruir los conductos del combustible.

Por sus propiedades solventes, puede ablandar y degradar ciertos materiales, tales como el caucho natural y la espuma de poliuretano. Es por esto que puede ser necesario cambiar algunas mangueras y retenes del motor antes de usar biodiesel en él, especialmente con vehículos antiguos.

- Sus costos aún pueden ser más elevados que los del diesel de petróleo. Esto depende básicamente de la fuente de aceite utilizado en su elaboración [www.wwf.es/protocolo de kyoto]

## 2.6. CÓMO SE OBTIENE EL BIODIESEL

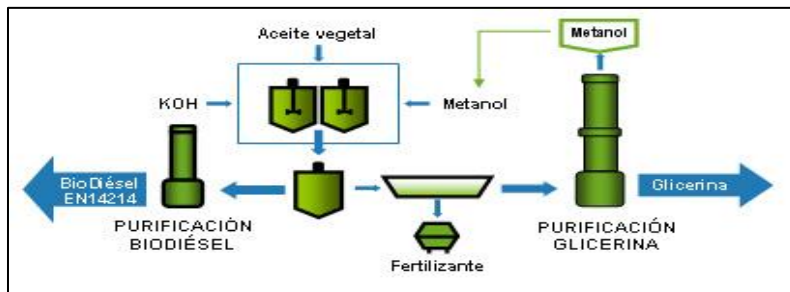
El Biodiesel es un biocombustible líquido obtenido principalmente a partir de aceites vegetales por medio de un proceso químico denominado transesterificación. Este proceso consiste en hacer reaccionar aceite vegetal con alcohol (generalmente metanol) en presencia de un catalizador (Figura 10).



**Figura 10.** Reacción de transesterificación de aceite para producir biodiesel

Desde el punto de vista químico, los aceites vegetales son triglicéridos, es decir tres cadenas moleculares largas de ácidos grasos unidas a un alcohol trivalente, el glicerol. En la reacción de transesterificación, el glicerol es reemplazado por metanol y se obtienen tres moléculas de metiléster del ácido graso. El glicerol desplazado se recupera como un subproducto de la reacción. En el siguiente esquema se muestra a grandes rasgos el proceso productivo de obtención de biodiesel a escala industrial (Figura 11).





**Figura 11.** Esquema de producción de biodiesel a nivel industrial

El proceso productivo a escala industrial involucra varias etapas, entre ellas las más importantes son las siguientes:

- **Reacción de transesterificación:** el aceite vegetal reacciona con el metanol en presencia de un catalizador (hidróxido potásico) para producir Biodiesel y glicerina.
- **Separación:** mediante decantación, las dos fases generadas en la reacción son separadas.
- **Purificación del Biodiesel:** se eliminan impurezas y restos de otras sustancias del proceso para adecuar sus características a las normas locales de calidad del producto.

Por otro lado, la glicerina, al ser un producto con valor comercial, recibe también un proceso de purificación. Para ello se separan de la fase glicerina los restos de catalizador en forma de fertilizante (sulfato potásico) y el metanol sobrante, que es recuperado para utilizarse de nuevo en el proceso [www.esteban.com].

### 2.6.1. CARACTERÍSTICAS DEL BIODIESEL

Desde hace varios años, el biodiesel ha ganado importancia a nivel internacional como un combustible obtenido a base de fuentes vegetales que funciona como reemplazo del gasoil de origen fósil.

Su elaboración se concentra en alrededor de veinticinco países, y puede producirse a partir de algas, semillas, plantas o a través del reciclado del aceite empleado para cocinar.

En principio hay que destacar que todos los biocombustibles acumulan diferentes críticas desde muchos sectores relacionados con la ecología y el medio ambiente. El argumento básico que esgrimen estos críticos es la explotación irracional de campos que provoca la necesidad de destinar cultivos para la producción de biodiesel y otros biocombustibles. En consecuencia, la opción del reciclado de aceite casero parece en realidad la más ecológica.

Lo cierto es que el biodiesel permite obtener un 5% menos de energía que el gasoil, aunque por otro lado posee una gran lubricidad, condición que facilita compensar la menor producción

energética y lograr una eficiencia y un rendimiento idéntico al que alcanza el combustible de origen fósil. Esta mayor lubricidad que posee el biodiesel permite optimizar en gran medida la vida útil de los propulsores que emplean esta fuente energética.

## **2.7. PRINCIPALES VENTAJAS AMBIENTALES**

Este combustible vegetal reduce los efectos contaminantes desde diversos puntos de vista. Por un lado, las emisiones netas de CO<sub>2</sub> son nulas. Además reduce la producción de hollín entre un 40 y un 60%. También lo hace con las emisiones de hidrocarburos, que disminuyen con el biodiesel entre un 10 y un 50%. El monóxido de carbono también desciende en la misma proporción, entre un 10 y un 50%.

Estos indicadores pueden aplicarse para el biodiesel 100% puro, ya que este combustible vegetal también se emplea en combinación con fuentes energéticas de origen fósil.

Pero las ventajas no acaban aquí, ya que además reduce de forma importante la emisión de muchos de los denominados hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs), derivados que en su mayoría poseen acción cancerígena. Entre ellos, se encuentra el Fenantrén, el Benzoflúorantren o los Benzopirenos.

Asimismo, el biodiesel es totalmente biodegradable, desapareciendo por completo su presencia en el planeta en un período menor a los 21 días. Para concluir, puede decirse que no genera olores desagradables en su combustión y que su toxicidad es mínima. [<http://www.ecogestos.com/biodiesel-caracteristicas-de-este-combustible-de-origen-vegetal>]

## **2.8. PRODUCCION DEL BIODIESEL EN EL MUNDO Y MEXICO**

El uso de manera cotidiana de los biocombustibles están muy lejos de la realidad mexicana, se escucha de ellos y se perciben como mitos, ilusiones, alquimia, tecnologías extrañas o sólo buenas ideas; sin embargo, para otras sociedades el uso de combustibles que no provienen de los recursos fósiles son una realidad, y un ejemplo de esto es el pueblo brasileño, que desde la década de los setentas le apostó a la obtención de etanol a partir de la caña de azúcar y a su uso como combustible en motores de combustión interna como una alternativa al uso de la gasolina; actualmente en Brasil es común encontrar estaciones de servicio donde se puede adquirir etanol, gasolina o diesel.

En el ámbito de los biocombustibles los países europeos han descubierto en el biodiesel su nicho de oportunidad, de tal manera que actualmente son 25 los países productores de este biocombustible, alcanzando una producción record de 9.5 millones de toneladas anuales, lo que representa el 65% de todo el biodiesel producido en el mundo, lo que los colocó en 2010 el primer

lugar como bloque productor. Estados Unidos de Norteamérica también es un importante productor, ya para el año 2002 producían 0.221 millones de toneladas, esperando alcanzar 3.3 millones de toneladas para el 2016. En China, en el año 2007, la Comisión de Desarrollo y Reforma planteó como objetivo producir 2 millones de toneladas anuales para el año 2020. Finalmente otros países productores, que no son menos importantes, son Brasil, Argentina Indonesia y Malasia.

Es el año 2006 el grupo de los 25 inicia su gran aventura en el mundo del biodiesel con una plantación, de colza, de 10 millones de hectáreas; ahora para cumplir con el objetivo de que el 10% de la industria del transporte utilice este biocombustible, espera contar con 13 millones de hectáreas sembradas, para el año 2020. Entre los países europeos que forman parte del grupo de los 25 destacan Alemania, Francia, España, Italia, Bélgica, Polonia, Holanda, Austria, Portugal y Finlandia; algunos de los países que no son productores de biodiesel son Malta y Luxemburgo.

En cuanto a los países europeos, Alemania es el mayor productor de biodiesel con una producción de 2.8 millones de toneladas anuales, seguida de Francia con 1.9, España con 0.925 e Italia con 0.706 millones de toneladas. Definitivamente Alemania se ha destacado por ser el país líder en cuanto a investigación, infraestructura, producción y consumo de biodiesel, de tal manera que en este país se consume biodiesel puro, además de contar con más de 500 estaciones de servicio en todo el país.

En cuanto a las materias primas para la producción de biodiesel se tiene que en Estados Unidos de Norteamérica se utiliza el aceite de soya, en Europa el de colza, en Malasia e Indonesia aceite de palma y el de Jatropha en la India y Asia.

En cuanto a la producción de biodiesel en México, desde una perspectiva industrial, únicamente se cuenta con información acerca de una planta establecida en el municipio de Lázaro Cárdenas, Michoacán, y otra en el estado de Chiapas, la cual tiene una capacidad de producción de 20 mil litros diarios, esto es aproximadamente 2 toneladas, lo que significa 760 toneladas anuales. En relación a la producción de materia prima que pudiera ser utilizada se tiene noticia de algunos sembradíos de jatropha en el estado de Veracruz, Michoacán, Sinaloa y Chiapas, el cual de acuerdo a declaraciones del gobierno del estado cuenta con 10 mil hectáreas sembradas. Además, según datos de la SAGARPA, en el año 2010, se tenía registrado la siembra de 1800 hectáreas con jatropha en el estado de Yucatán.

Finalmente en cuanto al uso del biocombustible se tiene la información de su uso en los autobuses del sistema de transporte chiapaneco y de algunas pruebas para ser utilizado como combustible en algunos aviones.

Cuando se compara el desempeño de México con los gigantes europeos en materia de producción de biodiesel, se percibe el gran camino que queda por recorrer para acercarse un poco a estos países. En relación a la producción del biocombustible Alemania produce 2.1 millones de toneladas anuales, mientras que México tan solo produce 760 en el mismo lapso de tiempo. En el

ámbito de las hectáreas sembradas para obtener la materia prima que posteriormente será transformada en biodiesel no hay punto de comparación entre las sembradas por los países europeos y México, 10 millones de hectáreas contra 11,800 ha, respectivamente. Mientras en Alemania existen 500 estaciones de combustible que ya expenden biodiesel, para México es aún un sueño poder utilizar este biocombustible.

Para que en México la industria de los biocombustibles pueda dar sus primeros pasos es necesario establecer políticas económicas que incentiven a los empresarios, se requiere de políticas agroindustriales que favorezcan el sembrado de la materia prima; es importante establecer los medios necesarios para impulsar la investigación de tecnología propia, estimular a las empresas automotrices para realizar los ajustes necesarios a los motores de combustión interna, en pocas palabras es imperante la sintonía de las secretarías de los gobiernos en sus distintos niveles.

## **2.9. FUENTES DE OBTENCIÓN DEL BIODIESEL**

Se puede decir que la producción de biodiesel tiende a provenir mayoritariamente de los aceites extraídos de plantas oleaginosas, especialmente girasol, soya y colza. Sin embargo, cualquier materia que contenga triglicéridos puede utilizarse para la producción de biodiesel (girasol, colza, soja, aceites de fritura usado, sebo de vaca, grasa de pollo y de pescado, etc).

A continuación se presenta un listado de las principales materias primas usadas para la producción de biodiesel:

### ***Aceites vegetales convencionales***

- Aceite de girasol
- Aceite de colza
- Aceite de soya
- Aceite de coco
- Aceite de palma

### ***Aceites vegetales alternativos***

- Aceite de *Brassicacarinata*
- Aceite de *Cynaracurdunculus*
- Aceite de *Camelina sativa*
- Aceite de *Crambeabyssinica*
- Aceite de *Pogianus*
- Aceite de *Jatropha curcas* (physicnut, pinhão manso, tempate)

### ***Aceites de semillas modificadas genéticamente***

- Aceite de girasol de alto oléico

### ***Grasas animales***

- Sebo de vaca

- Sebo de búfalo
- Grasa de pollo
- Grasa de pescado

### ***Aceites de fritura usados***

### ***Aceites de otras fuentes***

- Aceites de producciones microbianas
- Aceites de microalgas

## **2.9.1. ACEITES VEGETALES CONVENCIONALES**

Las materias primas utilizadas convencionalmente en la producción de biodiesel han sido los aceites de semillas oleaginosas como el girasol y la colza (Europa), la soya (Estados Unidos) y el coco (Filipinas); y los aceites de frutos oleaginosos como la palma (Malasia e Indonesia). Por razones climatológicas, la colza (*Brassicanapus*) se produce principalmente en el norte de Europa y el girasol (*Helianthusannuus*) en los países mediterráneos del sur, como España o Italia [Vicente, 2001]. La utilización de estos aceites para producir biodiesel en Europa ha estado asociada a las regulaciones de retirada obligatoria de tierras de la Política Agraria Común (PAC) que permite el cultivo de semillas oleaginosas a precios razonables. Sin embargo, la dedicación de sólo las tierras de retirada para la producción de materias primas energéticas supone un riesgo por cuanto estas superficies varían en el tiempo, ya que el régimen de retirada de tierras depende de la oferta y la demanda de cereales alimentarios, lo que implica que este índice está sujeto a alteraciones. En España, el uso de cultivos tradicionales como energéticos está condicionado además por la producción del aceite, ya que la producción media por hectárea de aceite de girasol resulta poco atractivo, desde el punto de vista del agricultor, para elegir este cultivo como fuente de obtención de biocarburantes.

## **2.9.2. ACEITES VEGETALES ALTERNATIVOS**

Además de los aceites vegetales convencionales, existen otras especies más adaptadas a las condiciones del país donde se desarrollan y mejor posicionadas en el ámbito de los cultivos energéticos. En este sentido, destacan la utilización, como materias primas de la producción de biodiesel, de los aceites de *Camelina sativa*, *Crambe abyssinica* y *Jatropha curcas*. Existen otros cultivos que se adaptan mejor a las condiciones de España y que presentan rendimientos de producción mayores. En concreto, se trata de los cultivos de *Brassicacarinata* y *Cynaracardunculus*. La *Brassicacarinata* es una alternativa real al secano y regadío extensivo. La *Cynaracardunculus* es un cultivo plurianual y permanente, de unos diez años de ocupación del terreno, y orientado fundamentalmente a la producción de biomasa, aunque también pueden aprovecharse sus semillas para la obtención de aceite. Se obtienen de 2.000 a 3.000 kilogramos de semillas, cuyo aceite sirve de materia prima para la fabricación de biodiesel [Vicente, 1998, 2001].

### **2.9.3. ACEITES VEGETALES MODIFICADOS GENÉTICAMENTE**

Los aceites y las grasas se diferencian principalmente en su contenido en ácidos grasos. Los aceites con proporciones altas de ácidos grasos insaturados, como el aceite de girasol o de *Camelina sativa*, mejoran la operatividad del biodiesel a bajas temperaturas, pero disminuyen su estabilidad a la oxidación, que se traduce en un índice de yodo elevado. Por este motivo, se pueden tener en consideración, como materias primas para producir biodiesel, los aceites con elevado contenido en insaturaciones, que han sido modificados genéticamente para reducir esta proporción, como el aceite de girasol de alto oléico [Vicente 1998, 2001].

### **2.9.4. ACEITES DE FRITURA USADOS**

El aceite de fritura usado es una de las alternativas con mejores perspectivas en la producción de biodiesel, ya que es la materia prima más barata, y con su utilización se evitan los costes de tratamiento como residuo. Además, como valor añadido, la utilización de aceites usados significa la buena gestión y uso del residuo.

El informe sobre el marco regulatorio de los carburantes propone reciclar aceite de fritura en biodiesel. Esta alternativa es la que más ventajas tiene porque además de producir combustible elimina un residuo contaminante como es el aceite usado. Este aceite da problemas al depurar el agua; sin embargo, su recogida es problemática. La Comisión Europea propone que el Ministerio de Medio Ambiente y los Ayuntamientos creen un sistema de recogida de aceite frito, oleinas y grasas en tres etapas: industrial, hostelería y doméstica.

La utilización de aceites usados presenta dificultades logísticas, no sólo por su recogida, como se ha dicho, sino también por su control y trazabilidad debido a su carácter de residuo. En el caso español, dicha recogida no está siendo promovida enérgicamente por la Administración pese a que la Ley 10/98 de Residuos establece la prohibición de verter aceites usados, lo cual es un incentivo más para su utilización en la fabricación de biodiesel.

### **2.9.5. GRASAS ANIMALES**

Además de los aceites vegetales y los aceites de fritura usados, las grasas animales, y más concretamente el sebo de vaca, pueden utilizarse como materia prima de la transesterificación para obtener biodiesel. El sebo tiene diferentes grados de calidad respecto a su utilización en la alimentación, empleándose los de peor calidad en la formulación de los alimentos de animales. La aplicación de grasas animales surgió a raíz de la prohibición de su utilización en la producción de piensos, como salida para los mismos como subproducto. Sin embargo, actualmente no existe un nivel de aplicación industrial en España.

### **2.9.6. ACEITES DE OTRAS FUENTES**

Por otra parte, es interesante señalar la producción de lípidos de composiciones similares a los aceites vegetales, mediante procesos microbianos, a partir de algas, bacterias y hongos, así como a partir de microalgas.

Por último, cabe destacar que está en estudio la utilización bioetanol y biometanol en el proceso de esterificación de dichos aceites para la producción de biodiesel, al igual que el desarrollo de cultivos específicos para fines energéticos, no alimentarios [<http://www.biodisol.com/biodiesel-que-es-el-biodiesel-definicion-de-biodiesel-materias-primas-mas-comunes/biodiesel-materias-primas-con-que-se-fabrica-biodiesel-aceites-y-grasas-produccion>]

## CAPÍTULO 3

### 3.1. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1.1. RECOLECCION DE MATERIA PRIMA

Para el presente estudio, se recolectaron los frutos maduros de mezquite en los meses de mayo a junio del año 2012. El lugar de recolección se ubica en el Ejido San José de la Paila, municipio de General Cepeda, en el kilómetro 84 de la Carretera Saltillo-Torreón, en el Estado de Coahuila,

La recolecta se hizo manualmente, recogiendo el fruto caído del árbol. En la muestra pudo identificarse la presencia de vainas sin daño y vainas picadas por algún parásito. De esa manera, se decidió clasificar a la muestras en tres grupos, uno comprendido por vainas completas sin daño, el segundo grupo está formado por las vainas dañadas y el tercer grupo por la semilla limpia proveniente de vainas sin daño. Los grupos así clasificados se identificarán a partir de este punto como: Vaina, Vaina dañada y Semilla, respectivamente (Figura 12).



**Figura 12.** Muestra de mezquite

#### 3.1.2. PRETRATAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA

En el caso de la muestra Semillas, éstas fueron separadas de las vainas manualmente.

Para los tres grupos de muestra, fueron sometidas a secado a 55 °C por 24 horas en estufa (Thelco) (Figura 13a). Posteriormente, se molieron en un molino (Pulvex) (Figura 13b) obteniendo un material harinoso que es que se usó tanto para la caracterización fisocquímica, como para la obtención del aceite.



**Figura 13.** a) Estufa Thelco y b) molino Pulvex usados para el pretatamiento.



### **3.1.3. ANALISIS FISICO Y QUIMICO DE LA MATERIA PRIMA**

El análisis bomatológico de las muestras en estudio fue realizado en el departamento de Nutrición y Alimentos de la UAAAN. SE hicieron determinaciones de materia seca parcial y total, cenizas, proteína, extracto etéreo, carbohidratos, fibra cruda y determinación de metales de las cenizas. Todo lo anterior siguiendo los métodos establecidos por la AOAC (1980).

#### **3.1.3.1. MATERIA SECA PARCIAL**

Este parámetro se determinó a partir de la relación entre el peso de la muestra seca y el peso de la muestra tal como ha sido recolectada. Para ello se usaron bolsas de papel filtro, una balanza y una estufa. En primer lugar se calentó la estufa a 55- 60 °C. Posteriormente se pesó la bolsa de papel vacía y se registró el dato. Después se introdujo una cantidad de muestra a la bolsa y se volvió a medir el peso de la bolsa incluyendo la muestra. Se registró el dato. La diferencia entre esos dos datos corresponde al peso de la muestra. Una vez que el horno alcanzó la temperatura deseada, se introdujo la bolsa con la muestra y se mantuvo en calentamiento por un lapso de 12 a 14 h. Al concluir el periodo de secado, se sacó la bolsa con la muestra, se dejó secar hasta alcanzar la temperatura ambiente y se midió su peso. La determinación se hizo por duplicado.

El porcentaje de materia seca total se calculó a partir de la siguiente ecuación:

---

#### **3.1.3.2. MATERIA SECA TOTAL**

La determinación de este parámetro se hace a una muestra que ha sido sometida al proceso descrito en el apartado 3.1.3.1. La muestra completamente seca se molió en un molino (Thomas Wiley M-4). La harina obtenida se almacenó en un frasco seco y limpio y se etiquetó para su identificación. El análisis se hizo por duplicado, para ello se usaron crisoles, estufa y balanza. Se colocaron los crisoles en la estufa (Ortiz) a una temperatura de 80 – 110° durante 24 horas. Esto tiene el objetivo de eliminar todo resto de humedad que tengan los crisoles y llevarlos a peso constante. Una vez transcurridas las 24 horas, los crisoles fueron retirados de la estufa, se colocaron en un desecador y se registró su peso. Posteriormente se pesaron 2 gramos de la muestra y se colocaron en los crisoles para luego ser introducidos nuevamente en la estufa durante 12 horas. Una vez que transcurrió el tiempo de secado, los crisoles con la muestra fueron sacados de la estufa, se dejaron enfriar en desecador y se pesaron.

El cálculo del porcentaje de materia seca total se realizó usando la siguiente ecuación:

---

Por otro lado, el porcentaje de humedad se determinó a partir del dato obtenido anteriormente de acuerdo a la siguiente ecuación:

### **3.1.3.3. CENIZAS**

Para la determinación de cenizas se partió de la muestra a la que se le calculó el porcentaje de materia seca total. Para ello, se pre-incineró el contenido del crisol usando un mechero de Bunsen hasta observar que la muestra se quemó. Posteriormente se introdujo el crisol a una mufla a 600 °C durante un lapso de 2 a 3 horas. Posteriormente, se sacó el crisol de la mufla, se dejó enfriar a temperatura ambiente y se pesó. El contenido de cenizas expresado en % se obtuvo a partir de la siguiente ecuación:

---

Y a partir del dato de cenizas y de materia seca total se pudo sacar el porcentaje de materia orgánica usando la siguiente ecuación:

### **3.1.3.4. PROTEÍNA**

La determinación de este parámetro se hizo sobre muestra seca y previamente molida. Se pesó 1 gramo de muestra y se colocó en un matraz Kjeldahl, se agregó 1 cucharada de reactivo de selenio, (que funciona como catalizador de la reacción). A la mezcla se le adicionaron entre 6 y 7 perlas de vidrio para controlar la ebullición. Posteriormente se agregaron 30 gotas de ácido sulfúrico concentrado y se colocó el matraz en el digestor Kjeldahl. Una vez montado el sistema se encendió la parilla para llevar a ebullición la mezcla, la cual se mantuvo así hasta que ésta cambió su coloración de un café oscuro a verde claro. Posteriormente, se enfrió el matraz.

Por otro lado, al matraz Erlenmeyer se le adicionaron 300 mL de agua destilada, 50 mL de ácido bórico y 5–6 gotas de indicador mixto. Se ajustó la manguera del destilador Kjeldahl dentro del matraz, se agitó el matraz Kjeldahl para que se disuelva la muestra y se abrió la llave del agua. Se colocó el matraz con cuidado procurando no agitar el matraz, agregando lentamente por las paredes del matraz 110 mL de hidróxido de sodio al 45%, se añadieron 6–7 granallas de zinc y con

cuidado se llevó al aparato digestor Kjeldahl; se colocó en la parte de arriba y se encendió la parrilla. Se abrió la llave del agua hasta 300 mL. Finalmente se retiró primero el matraz Erlenmeyer de la manguera, se apagó la parrilla para evitar que la muestra se succione y regrese al matraz Kjeldahl.

La concentración de proteínas en la muestra se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

---

### 3.1.3.5. EXTRACTO ETÉREO O GRASA

Esta determinación se basa en una extracción con solventes en un sistema Soxleth. Para ello se requieren matraces de bola de fondo plano, embudos Soxleth, refrigerantes, balanza, estufa, dedos de papel filtro y una parrilla. En primer lugar se colocan los matraces de bola, perfectamente limpios, en una estufa a 60 °C durante 12 horas para llevar a peso constante. Una vez transcurrido el tiempo, se dejan enfriar, se pesan y se registra el peso. Después en el dedal de papel filtro se pesaron 4 g de muestra (previamente molida) y éste fue colocado dentro del sifón Soxleth. Al matraz de bola se le agregaron 250 mL y se montó el sistema como se observa en la Figura 14. Se encendió el calentamiento a ebullición y se conectó el sistema refrigerante. Posteriormente, se evaporó el solvente y se metió el matraz a estufa por 12 horas, se enfrió y se pesó.

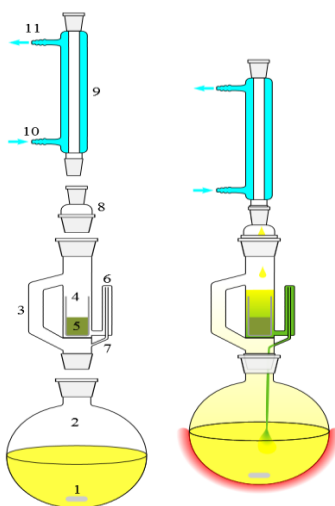


Figura 14. Sistema Soxleth

La determinación del porcentaje de extracto etéreo se hizo siguiendo la ecuación a continuación mostrada:

---

### **3.1.3.6. FIBRA CRUDA**

Para la obtención del valor de fibra cruda se pesaron 2 g de muestra molida, la cual se colocó en un vaso Berzelius. Se agregaron 100 mL de ácido sulfúrico 0.255 N y se abrió la llave del digestor. Se encendió la parrilla y se colocó el vaso. A partir de que la muestra empezó a hervir se tomó el tiempo de 30 min. Posteriormente, la mezcal se filtró en un embudo con pael filtro lavando con agua destilada caliente. Con una espátula se pasó el filtrado a un vaso de precipitado, se agregaron 100 mL de hidróxido de sodio 0.313 N, se puso a hervir durante 30 minutos más, después de lo cual, nuevamente se filtró y lavó la muestra con agua caliente. El residuo se pasó a un crisol previamente pesado y llevado a peso constante.

El crisol se dejó en la estufa durante 12 horas, al cabo de lo cual se dejó enfriar y se pesó. Después se llevó a la mufla a 600°C por 12 horas. Posteriormente, se dejó enfriar y se pesó. El porcentaje de fibra cruda se obtuvo a partir de la siguiente ecuación:

---

### **3.1.3.7. DETERMINACION DE METALES EN LAS CENIZAS POR ABSORCION ATOMICA**

Para esta determinación se pesó 1 g de muestra, la cual se colocó en un vaso precipitado de 100 mL y se le agregó una mezcla de 40 mL de ácido nítrico y ácido perclórico. La mezcal se calentó a ebullición en una plancha de calentamiento por 30 minutos. Posteriormente, la mezcla se filtró en papel filtro del # 42, recibiendo el filtrado en un matraz de 100 mL. Posteriormente se aforó con agua destilada. Las soluciones así preparadas fueron leídas en el equipo de Absorción Atómica (Figura 15).



**Figura 15.** Espectro de Absorción Atómica para la determinación de metales

### **3.2. EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE MEZQUITE**

Para la extracción del aceite de mezquite se usó el método de extracción con solventes, específicamente con hexano. Los tres tipos de muestras Semillas, Vainas y Vainas dañadas fueron sometidas a secado a 55 °C durante 24 horas: Posteriormente se molieron. La extracción se hizo mezclando hexano con la muestra molida y dejándola a reflujo durante un periodo de 2 horas (Figura 16).



**Figura 16.** Sistema de extracción de los aceites de semilla de mezquite

Para recuperar los aceites de la mezcla hexano-aceite se utilizó un evaporador rotatorio a 50°C. Posteriormente, los aceites crudos fueron filtrados para eliminar impurezas sólidas y el aceite resultante fue pesado y almacenado a 4°C.

### **3.3. FACTIBILIDAD DEL USO DE ACEITE DE MEZQUITE PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL**

Para este análisis se tomó en consideración el rendimiento del aceite de mezquite obtenido de las tres muestras estudiadas. También se consideraron los costos actuales de biodiesel obtenido por otras fuentes y el costo de producción de mezquite.

## CAPÍTULO 4

### 4.1. RESULTADOS

#### 4.1.1. MATERIA PRIMA

Al respecto de la recolección de la materia prima, se notó que es de suma importancia hacerlo en el lapso recomendado (entre mayo y junio), ya que la vaina una vez que está en las condiciones óptimas de madurez, ésta se desprende por sí sola del árbol cayendo al suelo. Si se recolecta antes de que caiga al suelo, se puede tener una semilla inmadura, y si por el contrario, se deja mucho tiempo en el suelo, ésta puede ser invadida por organismos pequeños, tales como insectos, que pueden disminuir su producción de aceite. También, si la semilla se deja mucho tiempo en el suelo, la vaina se puede abrir y dejar libre las semillas, propiamente dicho, las cuales serán más difíciles de recuperar.

En el caso del presente trabajo, se recolectó semilla en vaina en buenas condiciones, de la cual se obtuvo la semilla sin vaina a través de un proceso que consistió en pisar la vaina en un costal hasta que se separe la fibra de la semilla, se continuó con un tamizado para recuperar sólo la semilla sin la parte de la vaina.

Por otro lado, también se analizó una muestra consistente en vainas dañadas por un tipo de gorgojo, el cual se introduce en la vaina y empieza a comerse lo dulce de la fibra, continuando con semilla, dejando a la planta sin la parte más importante que es la semilla la cual contiene el aceite.

En la Figura 17 se presentan las tres muestras de mezquite analizadas en el presente trabajo de tesis.



**Figura 17.** Muestras analizadas: a) Vaina, b) Semilla, c) Vaina dañada

Cabe señalar que de las vainas podridas solo se recolectaron las que ya estaban picadas por gorgojo o bien las que todavía podrían tener un poco de semilla buena aunque estuviera dañada la fibra de la vaina o bien podrida por los efectos del medio ambiente.

#### 4.1.2. ANÁLISIS BROMATOLÓGICOS DE LAS MUESTRAS ANALIZADAS

En las Tablas 4 y 5 se presenta el análisis bromatológico de las tres muestras de semilla analizadas.

**Cuadro 4.** Análisis bromatológico de las tres muestras de semilla de mezquite

	Semilla	Vaina	Vaina dañada
Materia seca total (%)	97.33	97.17	96.97
Humedad total (%)	2.67	2.83	3.03
Cenizas (%)	5.55	4.60	4.57
Materia orgánica (%)	91.78	92.57	92.45
Extracto etéreo (%)	2.42	2.08	2.15

**Cuadro 5.** Continuación del análisis bromatológico de las tres muestras de semilla de mezquite

Parámetro (%)	Semilla	Vaina	Vaina dañada
Materia seca parcial	95.85	93.54	95.43
Humedad	9.42	6.46	4.57
Proteína cruda (Nitrógeno)	30.92	26.79	21.70
Fibra detergente cruda	23.68	26.11	27.81
Fibra detergente ácida	37.38	29.76	28.83
Fibra detergente neutra	50.50	39.72	39.52
Extracto libre de nitrógeno (carbohidratos)	37.43	40.42	43.77

Los parámetros determinados por el análisis bromatológico no difieren mucho entre muestra y muestra. Donde más se aprecia la diferencia es en el contenido de proteína cruda, siendo ésta mayor para la semilla y menor para la vaina dañada. Este comportamiento era de esperar, ya que la semilla es la que contiene todo el material necesario para la germinación de una nueva planta. Mientras que las muestras de vaina, en volumen, contienen además la fibra del pericarpio.

En cuanto a los carbohidratos totales, como también era de esperar, éstos en porcentaje fueron mayores para las muestras Vaina que para la muestra Semilla.

Entre la Vaina Dañada y la Vaina sin daño no hay diferencias notables en ninguno de los parámetros poniendo en evidencia que no habría gran problema en el aprovechamiento de la semilla si se contara con muestra dañada.

Los parámetros de la caracterización bromatológica coinciden con los reportados en trabajos previos en los que se caracterizó la composición nutrimental del fruto de mezquite de otro estado, donde el contenido de proteína en la semilla fue reportado en 39%. Mientras en este trabajo se reportó como del 31%.

En cuanto al análisis de metales en las muestras, en la Tabla 6 se reporta los resultados encontrados. Es notable la alta concentración de hierro, manganeso y zinc, sobre todo en la Vaina dañada, que incluso presenta valores superiores a los observados en la Semilla. El potasio, por su



parte se encuentra en bajas concentraciones en contraposición por lo determinado por (AOAC, 143.006, 1984, citado por Franco, 1990). Donde se afirma que las muestras analizadas en ese trabajo fueron ricas en potasio.

**Cuadro 6.** Análisis bromatológico de las tres muestras de semilla de mezquite

Parámetro (ppm)	Semilla	Vaina	Vaina dañada
Cobre	9	11	11
Manganeso	32	28	50
Hierro	122	119	194
Zinc	45	40	90
Magnesio	0.40	0.33	0.50
Potasio	3.15	2.67	3.05
Sodio	0.05	0.06	

De acuerdo a la composición nutrimental observada en las Tablas 4-6 es evidente que la semilla de mezquite tiene un alto potencial alimenticio, sino para alimento humano, sí como forraje para el alimento de ganado, el cual es un uso que se le da actualmente en muchas zonas donde crece.

Sin embargo, también se sabe que, por un lado existen zonas en las que este recurso natural no es aprovechado de ninguna manera, y por otra existen ya cultivos en invernadero promotores de la propagación de esta planta. De manera que es interesante darle un aprovechamiento integral, de manera que se aproveche todo su potencial.

#### 4.1.3. ACEITE DE SEMILLA DE MEZQUITE

En el cuadro 7 se presenta el rendimiento de aceite de mezquite obtenido para las tres muestras estudiadas.

**Cuadro 7.** Rendimiento de aceite en las muestras estudiadas

	Semilla	Vaina	Vaina dañada
Rendimiento (% peso)	1.63	1.99	1.85

Como puede observarse, los rendimientos en aceite de en el material bajo estudio son mínimos y muy bajos en comparación con los reportados para mezquite de Sonora. De acuerdo con Neyoy-Ozuna et al. [2002], se determinó que *Prosopis juliflora* presenta una concentración de aceite del 19.5%, comparable a la concentración determinada para soya y diez veces mayor que la obtenida para las muestras de mezquite estudiadas en el presente proyecto de tesis.

Estos resultados no dan margen a continuar con el estudio de factibilidad técnica económica de extracción de aceite de mezquite para cualquier aplicación comercial, ya que los rendimientos son demasiado bajos y no es rentable su aprovechamiento.



## **CONCLUSIONES**

Los frutos de mezquite (semillas) poseen un contenido nutritivo importante en donde destaca la concentración de proteínas, fibra y carbohidratos, lo que las hace una fuente ideal para el alimento de ganado en zonas donde es difícil el cultivo de otras especies.

Sin embargo, su bajo contenido en aceite lo hace inviable para su aprovechamiento comercial en la obtención de biocarburantes.

## **PERSPECTIVAS**

De acuerdo a su alto contenido en carbohidratos y fibra, puede ser interesante realizar un estudio de obtención mixta de bioetanol/biodiesel usando para ello nuevas cepas de levaduras de *Saccharomyces*, las cuales han demostrado su eficiencia en la obtención simultánea de etanol y aceites en materiales con altas concentraciones de carbohidratos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Conaza e INE, 1994
2. Dávila, 1983: 136
3. Durso et al., 1973
4. <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal10/Procesosambientales/Usoderecursos/08.pdf>
5. <http://www.biodieselpain.com/que-es-el-biodiesel/>
6. <http://www.biodisol.com/biodiesel-que-es-el-biodiesel-definicion-de-biodiesel-materias-primas-mas-comunes/>
7. <http://www.bioenergeticos.gob.mx/index.php/biodiesel/tipos-de-plantas-productoras-de-biodiesel.html>
8. [http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/foros/mezquite/uso\\_del\\_mezquite\\_como\\_fuente\\_de\\_polisacaridos\\_de\\_alto\\_valor\\_agregado](http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/foros/mezquite/uso_del_mezquite_como_fuente_de_polisacaridos_de_alto_valor_agregado).
9. [http://www.pueblaonline.com.mx/index.php?option=com\\_k2&view=item&id=23857:m%C3%A9xico-y-el-mundo-del-biodiesel&Itemid=137](http://www.pueblaonline.com.mx/index.php?option=com_k2&view=item&id=23857:m%C3%A9xico-y-el-mundo-del-biodiesel&Itemid=137)
10. <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/72/cultivo.html>
11. Neyoy-Ozuna, M.J.; Ortega-Nieblas, M.M.; Robles-Burgueño, M.R.; Vázquez-Moreno L. (2002) "Evaluación de los aceites de palo fierro (*Olneya tesota*) mezquite (*Prosopis juliflora*) y uña de gato (*Proboscidea parviflora*). Utilizados en frituras de papas. Memorias III Simposio Internacional sobre la Flora Silvestre de Zonas Áridas, Vol. 3, Hermosillo, Sonora.
12. Rzedowski (1988)
13. Rzedowski, 1981, 2001
14. Signoret, 1970
15. [www.biodieselpain.com/que-es-el-biodiesel](http://www.biodieselpain.com/que-es-el-biodiesel)
16. [www.chapingo.mx/revistas/revistas/articulos/doc/rchszal864.pd](http://www.chapingo.mx/revistas/revistas/articulos/doc/rchszal864.pd)
17. [www.inifapcirne.gob.m](http://www.inifapcirne.gob.m)
18. [www.oeidrus-bcs.gob.mx/Info.../INIFAP/.../Mezquite%20Pocitas.pd](http://www.oeidrus-bcs.gob.mx/Info.../INIFAP/.../Mezquite%20Pocitas.pd)
19. [www.sagarpa.gob.mx/](http://www.sagarpa.gob.mx/)
20. [www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/72/descrip](http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/72/descrip)
21. Zolfaghari y Harden, 1982