



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

**PERSPECTIVA DE LA FACTIBILIDAD DE LA
Jatropha curcas PARA LA PRODUCCION DE
BIODIESEL EN EL SUR DEL ESTADO DE QUINTANA
ROO.**

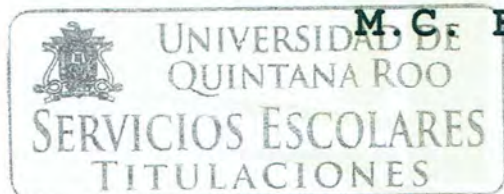
TRABAJO MONOGRÁFICO
PARA OBTENER EL GRADO DE

**LICENCIADO EN MANEJO DE RECURSOS
NATURALES.**

PRESENTA
ERIK F. MONTIEL CHAO



SUPERVISORES
DR. INOCENTE BOJORQUEZ BAEZ
M. P. MONICA A. CHARGOY ROSAS
M. C. BENITO PREZAS HERNÁNDEZ



CHETUMAL, QUINTANA ROO, MÉXICO, MAYO DE 2016.



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

**TRABAJO DE MONOGRAFÍA BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DEL
PROGRAMA DE LICENCIATURA Y APROBADA COMO REQUISITO PARA
OBTENER EL GRADO DE:**

LICENCIATURA EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

COMITÉ DE TRABAJO MONOGRÁFICO

SUPERVISOR:


DR. INOCENTE BOJORQUEZ BAEZ

SUPERVISOR:

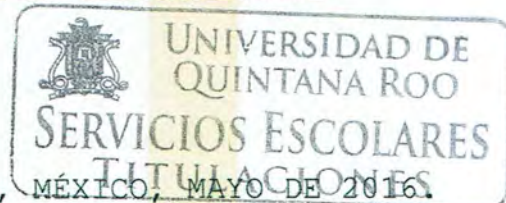

M. en P. MONICA A. CHARGOY ROSAS

SUPERVISOR:


M.C. BENITO PREZAS HERNANDEZ



CHETUMAL, QUINTANA ROO, MÉXICO, MAYO DE 2016.



INDICE

Resumen:	1
Introducción:	2
	7
OBJETIVOS:	
Objetivo General:	7
Objetivos Específicos:	7
	8
CAPITULO 1:	
1.1 ¿Qué es el biodiesel?	8
1.2 Principales iniciativas en el mundo con la aplicación <i>Jatropha curcas</i>	8
1.2.1 Principales iniciativas en México con la aplicación <i>Jatropha curcas</i>	9
1.2.2 Producción de <i>Jatropha curcas</i> en México	9
1.2.2.1. Principales áreas productoras de <i>Jatropha curcas</i> en México	9
1.2.2.2 Yucatán	10
	13
CAPITULO 2:	
2.1 Origen de <i>Jatropha curcas</i> l.	13
2.2 Morfología de <i>Jatropha curcas</i> l.	14
2.2.1 Condiciones climatológicas adecuadas para planta.	17
2.3 Ficha técnica	17
2.4 Ecología de <i>Jatropha curcas</i> l.	18
2.5 Composición de la semilla de <i>Jatropha curcas</i> l.	19
2.6 Requerimientos agroclimáticos	20
2.7 Propagación	20
2.8 Plagas y enfermedades	21
2.9 Floración y fructificación	21
	23
CAPITULO 3:	
3.1 Método de extracción de aceite y sus propiedades	23
3.1.1 Método de obtención del biodiesel.	24
3.1.2 Método de Transesterificación:	25
3.1.2.1 Alcoholes en el proceso de transesterificación - Relación molar alcohol: aceite	26
3.1.2.2 Temperatura de la reacción	28
3.1.2.3 Velocidad de la agitación	28
3.1.2.4 Transferencia de materia (sistema monofásico o bifásico)	29
	31

CAPITULO 4. RENDIMIENTOS, COSTOS Y BENEFICIOS DEL CULTIVO DE JATROPHA CURCAS.

4.1 RENDIMIENTOS	31
4.2 COSTOS AGRÍCOLAS	31
4.3 IMPACTOS, BENEFICIOS, OBJETIVOS Y RIESGOS EN EL CULTIVO DE Jatropha curcas.	33
4.3.1 Impactos:	33
4.3.2 Beneficios en el medio ambiente:	34
4.3.3 Beneficios a inversionistas:	34
4.3.4 Beneficios a productores:	34
4.3.5 Objetivos en el cultivo de Jatropha.	35
4.3.6 Riesgos.	37
	38
4.4 CONCLUSIONES.	
Referencias:	40
Artículos:	40
Referencias Electrónicas:	45

Resumen:

El piñón (*Jatropha curcas*) ha llamado mucho la atención en diferentes países, debido a su gran importancia para generar biocombustible, aunado a que es una planta con una gran capacidad de adaptación a diferentes entornos, y a su amplia gama de usos para los subproductos y derivados. El objetivo de este trabajo monográfico fue analizar mediante la revisión bibliográfica la factibilidad del aprovechamiento de la *Jatropha curcas* en el sur del estado de Quintana Roo para la producción de biodiesel y con ello realizar recomendaciones para aminorar y / o detener los daños producidos por la crisis energética. La revisión se inició con documentos normativos como la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010) para investigar si la planta se encontraba bajo alguna categoría de riesgo; también la temática se indagó tanto en artículos de investigación como de divulgación científica acerca de la producción del biocombustible con esta oleaginosa; se incluyó así mismo, la exploración de manuales, con el propósito de indagar sobre los métodos de cultivo de dicha planta. El tópico económico se enfocó al estudio de algunos artículos agroeconómicos para conocer la cantidad de insumos necesarios para la producción de este cultivo. Los resultados mostraron que en México y específicamente en Quintana Roo la situación acerca de la producción de biodiesel con *Jatropha curcas* es un problema ya que no se cuenta con la infraestructura adecuada, ni con la cantidad de semillas oleaginosas para una vasta producción del combustible, aunque si se cuenta con el suelo y clima adecuados para su desarrollo.

Introducción:

Crisis energética mundial

A medida que ha pasado el tiempo, el ser humano ha ido dependiendo cada vez más de los recursos energéticos. Para el hombre moderno, es impensable la vida sin iluminación, calefacción, refrigeración, transporte. Esta dependencia energética, se ha convertido en un exceso, específicamente de combustibles fósiles, y sabemos que éstos son recursos no renovables.

La humanidad se enfrenta a una crisis energética mundial, y debemos comenzar a buscar soluciones para ponerlas en acción, antes que se agoten los combustibles fósiles y el tiempo, por supuesto.

Hoy en día, el sistema de transporte mundial depende casi en su totalidad del combustible fósil. Ello ha tenido como consecuencia la reducción de las reservas de petróleo y el incremento de las emisiones de gases efecto invernadero causantes del calentamiento global (Agarwal, 2007). Los primeros signos de alarma de la disminución del crudo ocurrieron en 1973 con la primera crisis petrolera que afectó principalmente a Brasil, Estados Unidos, Nicaragua y otros países que dependen de la importación del combustible fósil (Foidl, Foidl, Sanchez, Mittelbach, & Hackel, 1996).

A principios de los años setenta, México importaba petróleo en respuesta a un acelerado proceso de urbanización, pero en 1979 el país se convirtió en exportador gracias al descubrimiento y explotación del yacimiento petrolero de Cantarell. Cantarell, sin embargo, inició su proceso de declinación en el año 2004 (PEMEX, 2008) y, en 2007, Petróleos Mexicanos (PEMEX) dio a conocer que se agotaría dentro de 9.6 años (Sánchez L. , 2007). Por su parte, Estados Unidos sufrió otra crisis petrolera durante el año 2008 cuando el barril de crudo alcanzó un valor alarmante de 110 dólares (Randelli, 2009). Entonces se predijo que las reservas de petróleo a nivel mundial durarían 41 años bajo un escenario industrial como el actual (Agarwal, 2007).

El hecho de que 77% de la producción actual del combustible fósil proviene de campos en declinación ha orillado a buscar nuevos yacimientos, especialmente en aguas profundas, para suplir la demanda mundial. Sin embargo, esto implica mayores costos de extracción, mayor tiempo para el desarrollo de proyectos, mayor complejidad tecnológica, mayores requerimientos de perforación, entre otros factores. Es por esto que la etapa del petróleo “fácil y barato” llegó a su fin en México y en el mundo (PEMEX, 2008), dando lugar a una crisis energética mundial.

En 1913 Rudolph Diesel escribió “El uso de aceites vegetales como combustibles puede parecer insignificante hoy. Pero con el tiempo pueden convertirse en combustibles tan importantes como el petróleo o el carbón lo son en nuestros días” (Haga, 2004) casi un siglo después, los biocombustibles derivados de extractos vegetales son considerados una alternativa promisoriosa para disminuir el impacto de las actividades humanas en el ambiente. Biodiesel es el nombre que se aplica a los compuestos derivados de aceites vegetales o grasas animales que pueden ser utilizados como combustible en motores de compresión por ignición o motores diesel (Van Gerpen & B. Shanks, 2004).

Debido a que los sectores agrícola y del transporte son los principales consumidores de combustibles fósiles y, por ende, los que más contribuyen a la contaminación ambiental, se cree que el uso de biocombustibles en estos sectores reducirá significativamente las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) y que ayudará a muchos países a cumplir los compromisos contraídos en el protocolo de Kyoto sobre el cambio climático (Agarwal, 2007)

Es necesario aclarar que el uso de los biocombustibles no es algo nuevo. En 1896 y 1908 Henry Ford construyó el “Quadricycle” y el “Model T”. Dichos autos funcionaban con etanol, aceite de cacahuate y de soya (Álvarez, 2009). En 1900, Rudolf Diesel mostró un motor que funcionó con aceite de cacahuate en la exhibición mundial en París. Incluso en 1911, el Dr. Diesel mencionó que los motores de diesel podrían ser alimentados exclusivamente con aceite vegetal y ayudarían considerablemente al desarrollo de la agricultura de los países que los usaran (Agarwal, 2007) (Álvarez, 2009).

En los años veinte, los biocombustibles dejaron de ser populares porque el petróleo, que se obtenía a más bajo costo y tenía un mayor contenido energético por unidad de volumen que

el etanol, se volvió la fuente predominante de combustible para el transporte (Agarwal, 2007). Es por ello que el etanol ha sido utilizado sólo en periodos de escasez de petróleo, como sucedió en las crisis petroleras de 1973 y 1979 cuando se le mezcló con gasolina para aumentar las existencias (Álvarez, 2009). Hoy, la nueva crisis energética y el calentamiento global han impulsado el uso de combustibles más baratos y limpios. Como resultado, en muchas partes del mundo se han establecido monocultivos a gran escala de diversas plantas para obtener biocombustibles. Ejemplo de ello es la producción de etanol en Brasil y en Estados Unidos a partir de la caña de azúcar y del maíz respectivamente (Álvarez, 2009). Las semillas del piñón (*Jatropha curcas*) producen un biodiesel de buena calidad. Además, al piñón se le adjudican diversas ventajas sobre otras especies, como requerimientos agroecológicos mínimos, bajo uso de insumos y, por tanto, la posibilidad de cultivarlo en tierras que son inadecuadas para otros cultivos agrícolas (FAO, 2009). Por tales razones, esta planta ha adquirido alta importancia económica en el mundo.

Los primeros motores automotrices modernos fueron desarrollados desde la segunda mitad del siglo XIX. El 10 de agosto de 1893, el francés R. Diesel patentó un nuevo modelo de motor de combustión interna que funcionaba con aceite de cacahuete, invento que le permitió ganar el premio principal de la Feria Internacional de París en 1900 (Demirbas, 2008).

Hasta principios del siglo XX los motores automotrices utilizaban dos tipos de combustible, los derivados del petróleo y biocombustibles, pero en 1920 se impulsó a nivel internacional la penalización de la marihuana (principal materia prima de los biocombustibles por su bajo costo), lo que favoreció la explotación y comercialización de los derivados del petróleo y la tecnología que los ocupa, entre ellas el motor diesel. Lo que actualmente conocemos como biodiesel (metil-ésteres obtenidos a partir de la técnica de transesterificación) fue utilizado por primera vez en motores automotrices en Europa durante la segunda guerra mundial ante la escasez de derivados del petróleo durante ese periodo especial (Balat, 2008).

Pero no fue sino hasta finales de la década de los 70's y principios de los 80's que la preocupación por los altos precios del petróleo promovió una extensa experimentación de la

técnica de obtención de biodiesel de una gran variedad de aceites vegetales y grasas animales en la búsqueda de fuentes alternativas de energía. (F. & Hanna, 1999)

México es un país de gran biodiversidad que alberga un alto número de plantas autóctonas, cuyo potencial se desconoce por la escases de estudios (Lopéz, 2008).

La planta de *Jatropha curcas* pertenece a la familia de las *Euphorbiaceae*, nativa de México y Centroamérica, pero es ampliamente cultivada en Centro América, África y Asia. La planta de *Jatropha curcas* es resistente a la sequía y crece en suelos pobres y arenosos, en climas tropicales y semitropicales, en altitudes que van desde los 0-1500 msnm, el látex de sus hojas, se ha utilizado en medicina tradicional y también como cerca viva, protegiendo de la erosión (Makkar, 1998)

La popularidad actual de la planta se debe al uso de su aceite. *Jatropha curcas* es única entre todas las fuentes de energía renovable en términos del gran número de posibilidades de utilización que pueden realizarse. Su cultivo requiere de simple tecnología, y comparativamente modesto capital de inversión (Francis, 2005)

En la India, su cultivo había estado en manos de pequeñas productoras y hoy en día se preparan para sembrar ¡hasta 40 millones de hectáreas con *Jatropha curcas*! British Petroleum tiene un proyecto experimental para producir biodiesel a partir de una plantación de 100 mil hectáreas en Indonesia y Daimler-Chrysler experimenta con tres automóviles Mercedes movidos exclusivamente con diesel de *Jatropha*. (Lopéz, 2008)

El biodiesel y la glicerina son los dos productos que se obtienen en el proceso químico que sucede de la mezcla de aceite vegetal o grasa animal con un alcohol y un catalizador, proceso que se conoce en términos generales como transesterificación (Lapuerta & Rodriguez, 2008). La técnica de transesterificación en aceites vegetales fue desarrollada en 1853 por los británicos E. Duffy y J. Patrick con el principal objetivo de obtener glicerina y utilizarla como materia prima en la producción de jabón, varios años antes de que se hubiera inventado el motor diesel (Demirbas, 2008) .

Esta técnica fue utilizada primordialmente para producir glicerina a partir de aceites de cacahuete, marihuana y maíz; pero actualmente se utiliza para extraer tanto glicerina como

biodiesel a partir de una gran cantidad de materias primas como son los aceites de girasol, algodón, linaza, soya, oliva, uva, coco, colza, ricino, piñón y algunas otras especies de plantas, la técnica ha sido aplicada con éxito también en grasas animales y aceite comestible residual (Balat, 2008) .

Las semillas de *Jatropha curcas* de México contienen 55-60% de aceite que puede ser convertido a biodiesel por un proceso llamado transesterificación. La conveniencia de conversión del aceite de *Jatropha curcas* a biodiesel ha sido claramente demostrada por diversos investigadores. Con rendimientos del 92% de conversión. Las propiedades fisico-químicas del biodiesel obtenido de *Jatropha curcas*, cumplen con los estándares internacionales europeos, además presenta ventajas sobre el diesel pues disminuye la emisión de una variedad de contaminantes. Las emisiones de dióxido de carbono no han sido todavía medidas para *Jatropha curcas*. Sin embargo, se ha demostrado en los Estados Unidos que el uso del biodiesel obtenido a partir del aceite de soya reduce las emisiones de CO₂ y SO₂ en un 80 y 100%, respectivamente comparado con el petro-diesel (Francis, 2005).

OBJETIVOS:

Objetivo General:

- Realizar una revisión bibliográfica sobre el cultivo de *Jatropha curcas* y su potencial para contribuir a la producción de biodiesel, acorde a lo establecido en la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos.

Objetivos Específicos:

- Investigar los diferentes proyectos relacionados con el cultivo de *Jatropha curcas* y producción de biodiesel que se encuentran en la red de Internet, o en bases de datos.
- Revisar aproximadamente 50 artículos, relacionados al tema y escoger los 30 más relevantes, y que tengan información más completa y no repetida.

CAPITULO 1:

1.1 ¿Qué es el biodiesel?

El biodiesel es un sustituto del petrodiesel, se puede obtener, a partir de recursos naturales renovables, como aceites vegetales y/o grasas animales y algas. Al igual que el diesel del petróleo el biodiesel funciona en los motores de combustión interna. Sus ventajas son variadas, entre los cuales se encuentra que las emisiones netas de dióxido de carbono (CO₂) y de dióxido sulfuroso (SO₂) se reducen más del 50%. Un recurso vegetal renovable que ha llamado la atención a nivel mundial es la planta *Jatropha curcas* que pertenece a la familia de la *Euphorbiaceas*, y que por su alto contenido de aceite (50-55%)(1), es una fuente importante para la obtención de biodiesel. (Sánchez, Martínez, & Martínez)

Los biocombustibles, que progresivamente van a contribuir a aliviar la dependencia a partir de energías fósiles tales como el bioetanol y el biodiesel son considerados de primera generación ya que pueden ser producidos por las técnicas de la agricultura actual y moderna.

En la actualidad, aproximadamente el 84% de la producción de biodiesel del mundo se debe al aceite de colza, la porción restante es de aceite de girasol (13%), aceite de palma (1%), aceite de soya, y otros (2%). Más del 95% de biodiesel está hecho de especies naturales. Mediante la conversión de aceites comestibles en biodiesel, los recursos alimentarios en realidad están siendo convertidos en los combustibles de automoción. (Gui, Lee, & Bhatia, 2008)

1.2 Principales iniciativas en el mundo con la aplicación *Jatropha curcas*

Debido a su gran biodiversidad y el clima diversificado y las condiciones del suelo, Brasil tiene acceso a muchas plantas para la extracción de aceite como materia prima, entre ellas se encuentra la soja, girasol, coco, ricino, algodón, aceite de palma, babasú *Jatropha*, y otros.

El Programa Nacional de Producción y Uso de Biodiesel (PNPB) se puso en marcha en 2004 con el objetivo de garantizar los derechos económicos y viabilidad de la producción de biodiesel, junto con el desarrollo social y regional.

El consumo actual de diesel en Brasil es de aproximadamente 40 mil millones litros / año, y es el mercado potencial para el biodiesel en la actualidad 800 millones de litros y debe alcanzar dos millones de litros en

2013. Los precios varían entre 0,3 y 0,8 dólares EE.UU. / l, de acuerdo con el área de producción (Barros, y otros, 2006)

1.2.1 Principales iniciativas en México con la aplicación *Jatropha curcas*

En México, la introducción de plantaciones para biocombustibles no se ha quedado atrás, pues “los patrones de consumo, de distribución, de tecnología, de organización del trabajo y de vida social, se están transformando rápidamente a imagen de las tendencias dominantes en otros países, especialmente Estados Unidos” (Barkin, 1991)

(Sánchez L. , 2007) Menciona que Estados Unidos seguirá utilizando a México como proveedor de su reserva estratégica de energéticos, donde México le exportará la mayor parte de su petróleo hasta que se agote, para después convertirse en uno de sus principales suministradores de biocombustibles. Sin embargo, “México llega a la era de la producción de los agrocombustibles en circunstancias en las que no se han hecho evaluaciones críticas por parte del gobierno federal y de los sectores involucrados sobre los costos ambientales, sociales y económicos” de su uso (Sánchez L. , 2007)

1.2.2 Producción de *Jatropha curcas* en México

1.2.2.1. Principales áreas productoras de *Jatropha curcas* en México

Debido al potencial de *Jatropha curcas* para la generación de biocombustibles, al igual que en otros países el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) desarrolla un programa para generar conocimientos y tecnología de producción de materia prima para la elaboración de biodiesel a partir de esta especie.

Dicha investigación ha propiciado el interés por establecer el cultivo en estados como Michoacán, Chiapas, Sinaloa, Nuevo León, Oaxaca, Campeche, Yucatán, Sonora, Veracruz, Tabasco y Guerrero, previéndose una expansión del área sembrada con esta especie, ya que

en México existen más de 2.6 millones de hectáreas de alto potencial productivo, distribuidas en 24 estados del país en los cuales se puede planear el desarrollo del cultivo para la producción de materia prima para la obtención de biodiesel (Zamarripa, Martínez-Herrera, De la Piedra, & Olivera, 2008).

Según el estudio de Zamarripa *et al.*, (2008), a nivel nacional se estimaron alrededor de 2.6 millones de hectáreas con alto potencial para el cultivo del piñón, con un altitud de 0 a 1000 msnm, una temperatura entre 18 y 28 ° C y una precipitación pluvial entre 600 y 1200 mm anuales. Los estados de la República Mexicana que registraron mayor superficie óptima para el cultivo de piñón fueron Sinaloa con 557,641 ha, Tamaulipas con 317,690 ha, Guerrero con 282,158 ha, Chiapas con 230,273 ha y Michoacán con una superficie de 197,288 ha, y Yucatán con un total de 416 ha. Las superficies identificadas presentan también pendientes menores a 20% con un uso de suelo predominantemente agrícola. De 32 estados en 8 de ellos no se detectaron áreas con potencial alto.

En el siguiente párrafo se mencionan las características climáticas y de ubicación que hace a Yucatán un lugar para la investigación del cultivo del piñón.

1.2.2.2 Yucatán

Las coordenadas geográficas extremas del estado son: Al Norte 21°36'; al Sur 19°32' de latitud norte; al Este 87°32'; y al Oeste 90°25' de longitud oeste. El territorio de la entidad, representa el 2.0 por ciento de la superficie del país. El estado de Yucatán colinda al Norte con el Golfo de México; al Este con Quintana Roo; al Sur con Quintana Roo y Campeche; y al Oeste con Campeche y el Golfo de México (INEGI, 2014).

Yucatán presenta altas temperaturas en todo su territorio, esto se debe a diversos factores, entre ellos: la escasa altitud, que va del nivel del mar en el norte a 210 m en el Cordón Puc al sursuroeste; el relieve plano o escasamente ondulado y la ubicación al sur del Trópico de Cáncer (fig.1). La temperatura junto con las diferentes cantidades de precipitación total anual que se producen en el estado, han propiciado el predominio de clima cálido, seguido del semiseco muy cálido y cálido y en menor proporción, del seco muy cálido y cálido (INEGI, 2014).

Cerca de 85% del territorio estatal muestra clima cálido subhúmedo en lluvias de verano; éste abarca todo lo ancho de Yucatán desde el noroeste de Maxcanú hasta el noreste de Tizimín y se extiende hacia la parte sur. Aquí, la temperatura media anual va de 24° a 28°C, la temperatura media del mes más frío es cuando menos de 18°C y la precipitación total anual comprende de 700 a más de 1 500 mm (INEGI, 2014).

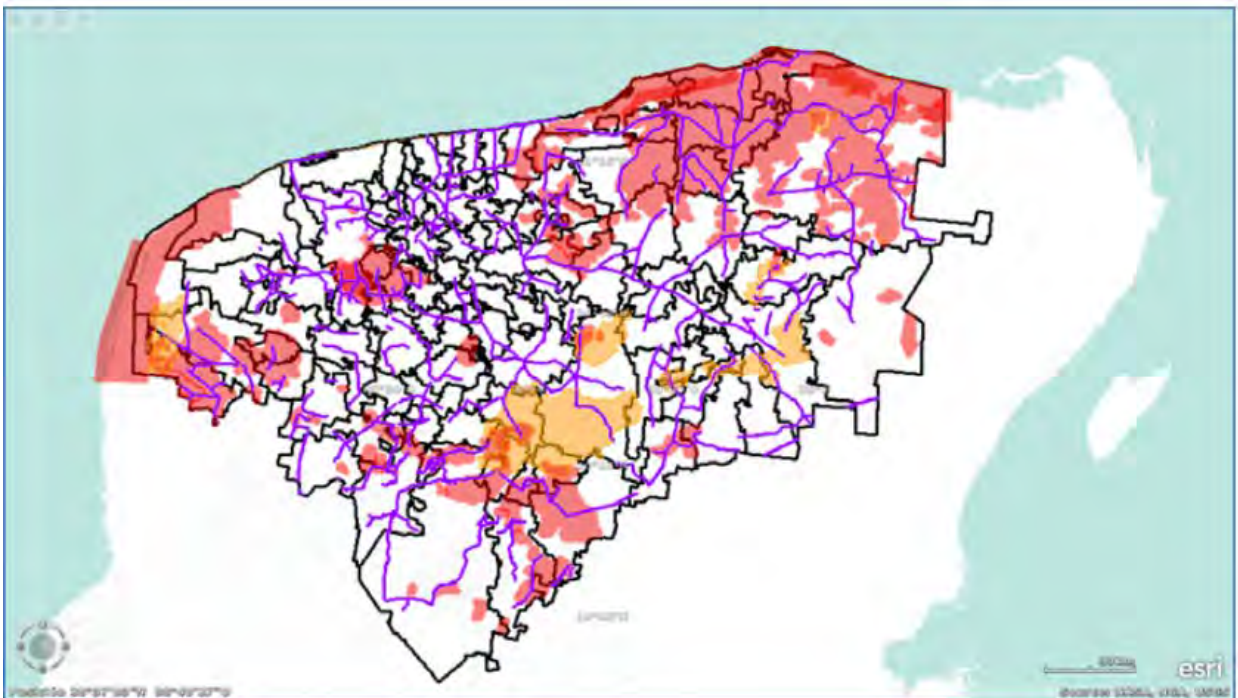


Fig.1 Área potencial para la siembra de *J. curcas* en Yucatán. Las áreas anaranjadas son las aptas y las de dos tonalidades de rojo no son aptas pues o se dedican a otro cultivo o son ANP's. Datos de SEDUMA.

En México se tienen datos de que se sembraron 1, 800 hectáreas de *Jatropha curcas* durante el año 2010 en el municipio de Tizimín, Yucatán (SIAP, 2014) (fig.2), que se ubica entre los paralelos 20°56' y 21°36' de latitud norte; los meridianos 87°32' y 88°16' de longitud oeste; altitud entre 7 y 10 m. Colinda al norte con el municipio de Río Lagartos y Golfo de México; al este con el Golfo de México y con el estado de Quintana Roo; al sur con los municipios de Espita, Chemax, Temozón y Calotmul y con el estado de Quintana

Roo y al oeste con Espita, Sucilá, Panabá y Río Lagartos. Ocupa el 10.36% de la superficie del estado (INEGI, 2014)

El clima de este municipio es cálido subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad (69.07%) y semiseco muy cálido y cálido (30.93%) tiene un rango de temperatura entre los 24 – 26 °C, una precipitación de 600-1500mm (INEGI, 2014)

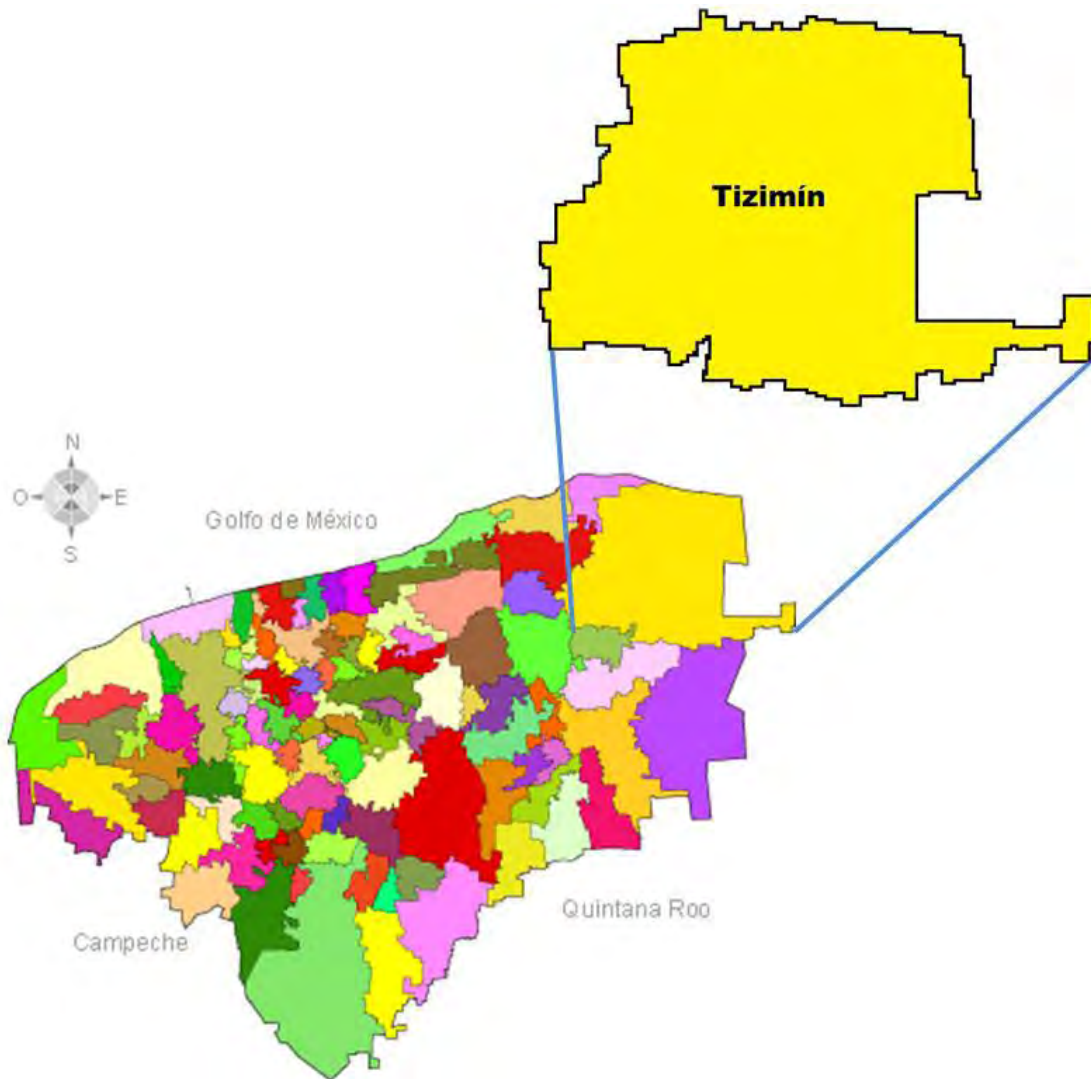


Fig. 2. Mapa del municipio Tizimín y su ubicación dentro del Estado de Yucatán
(INEGI, 2014)

CAPITULO 2

2.1 Origen de *Jatropha curcas* L.

El género *Jatropha* es originario de América tropical, con los restos más antiguos que se encuentran por EW Berry (1929) en las formaciones geológicas de Perú a la temprana edad terciaria (superior o inferior del Eoceno Oligoceno).

La clásica comprensión de la deriva continental es que el mar de Tetis había inundado el suelo correspondiente a América Central desde el Jurásico superior (150 millones de años), que coincide con el comienzo de la eclosión de angiospermas, hasta alrededor de finales del Eoceno (Gheerbrant, 2006) hace unos 30 millones de años, es decir, después de la radiación de angiospermas (70 millones años).

Se cree que la observación de Berry, del género *Jatropha* se habría instalado en las zonas tropicales de América del Sur antes de su conexión a América Central, con referencia a esto se podría entender que la *Jatropha* debió haber migrado recientemente a Centroamérica desde África, antes de la introducción de los humanos. Esto desde antes de que África fuera separada de América del Sur (Brasil) hace unos 65 millones de años.

Esto sugiere que el origen de la *Jatropha* es tropical de América del Sur- en contraste con otras literaturas que dicen que proviene de América Central. El género *Jatropha* pertenece a la tribu *Jatropheae* correspondiente a la familia *Euphorbiaceae* contiene aproximadamente 170 especies conocidas.

Euphorbiaceae es una familia antigua y diversa en el orden *Malpighiales* e incluye además otros miembros como el caucho, la yuca, el frijol ricino, la flor de pascua, y el tártago de hoja (Wurdack, 2008).

Un estudio preliminar mostró que la *Jatropha glandulifera* Roxb. Es más bien diferente del núcleo de especies de *Jatropha* (Ganesh Ram & Parthiban, 2008).

Sin embargo, híbridos naturales parecen ser comunes en el género *Jatropha*. Por ejemplo, *Jatropha tanjorensis* Ellis y *Soraja* se considera un híbrido espontáneo entre *Jatropha curcas*. Y *Jatropha gossypifolia* L. otros híbridos naturales se pueden encontrar también como *Jatropha curcas* y *Jatropha canascens* y *Jatropha integerrima* Jacq. *Jatropha*

hastadas Jacq., que se han reportado en México y Cuba, respectivamente (Sujatha & Reddy, 2008). *Jatropha curcas*, es un árbol pequeño o arbusto grande que normalmente alcanza una altura de 5.3 m, pero puede alcanzar una altura de 8.10 m en condiciones favorables (Fig.3)



Fig. 3 Estructura de un Árbol de Jatropha.

2.2 Morfología de *Jatropha curcas* L.

Aspecto general: Es un arbusto grande, de crecimiento rápido, cuya altura normal es de dos a tres metros, pero puede alcanzar hasta ocho metros en condiciones especiales. El tronco presenta un fuste ramificado a poca altura y una corteza lisa de madera suave, médula desarrollada poco resistente, de aproximadamente 20 cm de diámetro, de color blanco grisáceo; floema con largos canales que se extienden hasta las raíces, por los cuales circula el látex, jugo lechoso que brota con abundancia de cualquier herida (Alfonso, 2014).

Raíz: la planta de piñón posee raíces cortas y poco ramificadas, normalmente cuando las plántulas proceden de semilla se forman cinco raíces, una central y cuatro periféricas (2 secundarias y 2 terciarias) (Alfonso, 2014).

Tallo: no hay uniformidad en el crecimiento de los tallos. El tronco o fuste está dividido desde la base, en ramas largas, con numerosas cicatrices producidas por la caída de las hojas en la estación seca, las cuales resurgen luego de las primeras lluvias (Alfonso, 2014).

Hojas: las hojas del piñón son verdes, amplias y brillantes, largas y alternas, en forma de palmas pecioladas, la mayoría de 7-16cm de largo y de alrededor del mismo ancho, con nervaduras blanquecinas y salientes en el envés, casi glabras pero más o menos pilosas debajo de las nervaduras. Normalmente se forman con 5 a 7 lóbulos acuminados, pocos profundos y grandes, con pecíolos largos de 10 a 15 cm. El piñón es un árbol de hojas caducas (caducifolio) durante la época de verano, es común ver los tallos sin hojas (Alfonso, 2014) (fig.4).

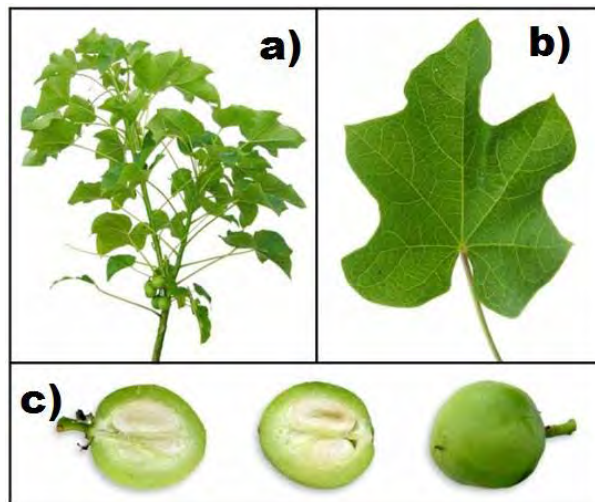


Fig.4 a) Planta; b) hoja y c) frutos de *Jatropha curcas*

Flores: la floración es monoica, presentándose los órganos masculino y femenino en la misma planta, las inflorescencias se forman terminalmente en el axial de las hojas en las ramas. Ambas flores, son pequeñas (6-8 mm), de color verdoso amarillo en el diámetro y pubescente. Cada inflorescencia cuajada muestra un racimo de aproximadamente 5-10 frutos (Alfonso, 2014). (fig.5)



Fig.5 Floración de *Jatropha curcas*.

Fruto: son cápsulas drupáceas y ovoides con diámetro de 1.5 a 3.0 cm. El fruto se triolocular con una semilla en cada cavidad, formando por un pericarpio o cáscara dura y leñosa, indehiscente, hasta llegada la madurez, inicialmente es de color verde, pasando a amarillo, luego a café y al último negro, cuando alcanza el estado de maduración (Alfonso, 2014).

Semilla: la semilla es relativamente grande, cuando está seca mide de 1.5 a 2.0cm de largo y 1.0 a 1.3 cm de diámetro; la semilla de piñón, pesa entre 0.551 a 0.797g, puede tener, dependiendo de la variedad y de los tratamientos culturales, en proporción de 33.7 a 45% de cáscara y de 55 a 66% de almendra (Alfonso, 2014) (fig.6).



Fig.6 muestra de frutos y semillas de *Jatropha curcas*. (energeticos, 2014)

2.2.1 Condiciones climatológicas adecuadas para planta.

El clima para el cultivo de *Jatropha curcas* debe de ser tropical o subtropical con temperatura media anual a los 24 grados centígrados, pudiendo soportar heladas leves de corta duración siempre que no sean por debajo de los cero grados centígrados. Se desarrolla en altitudes sobre el nivel del mar hasta 1200 metros preferentemente y con una precipitación pluvial desde 300 hasta 1200 mm. anuales de lluvia. (Nuñez, 2009)

2.3 ficha técnica

Nombre Científico: *Jatropha curcas* L.

Nombre Común: Piñón, Tempate, Piñón Botija, Piñón de leche, Coquito, Coquillo, Cotoncito. etc.

Reino: Plantae

Subreino: Tracheobionta

División: Embryophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Rosidae

Orden: Malpighiales

Familia: Euphorbiales

Subfamilia: Euphorbioideae

Tribu: Jatrophae

Género: *Jatropha*

Especie: *J. curcas*

2.4 Ecología de *Jatropha curcas* L.

La *Jatropha curcas* es ampliamente distribuida en las áreas tropicales, silvestres y cultivadas de América Central, América del Sur, África, India, Sur de Asia Oriental, y Australia. Por lo general puede crecer con temperaturas entre 15 y 40 °C con lluvias entre 250 y 3000 mm y su desarrollo es más alterado por temperaturas bajas (Foidl, Foidl, Sanchez, Mittelbach, & Hackel, 1996).

Sin embargo, es una planta de campo abierto que requiere de sol intenso tal como se encuentra en la sabana o en el desierto. No está adaptada para crecer bajo la sombra del bosque y no compite con especies de crecimiento rápido de la selva tropical.

Se adapta muy bien a los climas áridos y semiáridos, demostrado con mecanismos moleculares de resistencia a la sequía (Zhang, Niu, & Wang, 2008) También puede crecer en una amplia gama de suelos siempre que sean bien drenados y aireados (Kumar & Sharma, 2008).

A pesar de que la *Jatropha* puede resistir a condiciones ambientales adversas, es obvio que para el nivel alto de producción de aceites, necesita por lo menos 45 cm. de suelos profundos una cantidad adecuada de nitrato, fosfato y potasio (NPK), para tener un buen crecimiento y maduración del fruto. Si la fertilización no está disponible, el uso de micorrizas ha demostrado que ayudan a sostener el crecimiento y el desarrollo (Achten & Verchot, 2008)

2.5 Composición de la semilla de *Jatropha curcas* L.

En la siguiente tabla (Tabla 1) se puede observar la composición de la semilla de *Jatropha curcas*, la cual se realizó en el rango de porcentaje de un 100% tomando en cuenta los porcentajes de agua, grasas, carbohidratos, proteínas y cenizas.

Tabla 1 Composición de la semilla de *Jatropha curcas* L.

Contenido	% en peso
Agua	6.6
Grasa	38.0
Carbohidratos totales	32.5
Proteína	18.2
Cenizas	4.0

2.6 Requerimientos agroclimáticos

Los requerimientos agroclimáticos son importantes ya que con ellos podremos saber las necesidades del cultivo de *Jatropha curcas* para tener un óptimo desarrollo y de esta manera obtener una mejor producción (Tabla 2).

Tabla 2 Requerimientos agroclimáticos

Requerimientos agroclimáticos de la jatropha (<i>Jatropha curcas</i> L.)			
Variable	Alto	Medio	Bajo
Altitud	0-1000 m	1000-1500 m	>1500 m
Precipitación	600-1200 mm	1200-1800 mm	>1800 y < 300 mm
Temperatura	18°-28° C	28°-34° C	<18° C
Pendiente	0-20 %	-	-
Uso de suelo	Área agrícola	-	-

2.7 Propagación

Jatropha se propaga a través de injertos o semillas. Las estacas son típicamente preparadas con las ramas terminales de un año de 25 a 30 cm. Una buena práctica para inocular las estacas es con hongos (micorrizas), cuando se establece en el vivero.

Este tratamiento mejora la calidad de la simbiosis planta-hongos en las condiciones de campo, especialmente en suelos con baja fertilidad (Carvalho, Moreira, Silva, & Silva, 2007). Con hongos endo-micorriza se demostró que se encuentra comúnmente en asociación con *Jatropha* en condiciones naturales (Carvalho, Moreira, Silva, & Silva, 2007).

También el número de hojas es mayor y el tiempo de floración antes, cuando estacas son tratadas con AIB (ácido indol-3-butírico) (Kochhar, 2008). En la práctica, se elige los cortes más saludables para la aclimatación de campo.

La ventaja de la propagación es que da la posibilidad de acceder a tener un crecimiento mucho mejor de las plantas debido a la manipulación y a los manejos que se le pueden dar. Sin embargo las plantaciones a gran escala sólo son posibles a través de la siembra, con semillas.

Las semillas son sumergidas durante 24 h en el agua, y germinan en 5-10 días a 27-30 C°, mientras que los esquejes y las plantas se cultivan en los viveros por 2 meses y posteriormente son trasplantados campo al comienzo de la temporada de lluvias. Durante la estación seca, la planta entra en reposo vegetativo y se produce la pérdida de sus hojas. (Kochhar, 2008)

2.8 Plagas y enfermedades

Como era de esperar en cualquier tipo de monocultivo, los grandes campos de *Jatropha* son susceptibles a las plagas y enfermedades (Banjo, Lawal, & Aina, 2006)). Los principales problemas son causados por el insecto scutellaride (*Scutellera nobilis*), el barrenador *Pempelia morosalis*, *Pachycoris klugii* (*Scutelleridae*), *Leptoglossus zonatus* Dallas (*Coreidae*), el minador *Stomphastis thraustica*

Las plagas y enfermedades que afectan a la *Jatropha* en los cultivos industriales son normalmente: el saltahojas Empoasca (*Empoasca sp.*), Ácaros (*Polyphagotarsonemus latus*), barrenadores (*Pachycoris torridus Scopoli*), y trips, en las enfermedades se encuentra (Saturnino, Pacheco, Kakida, Tominaga, & Gonçalves, 2005), antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* y *Colletotrichum capsici* Syd.), Oidio, phythophtora y Fusarium (Freire & Parente, 2006).

2.9 Floración y fructificación

En las regiones tropicales y húmedas, o bajo condiciones de riego, la *Jatropha* tiene flor durante gran parte del año. Debido a que la floración continua, la producción de la fruta tiene lugar durante 4 meses al año y la fruta debe ser cosechada tres veces durante este período, lo que complica la mecanización. El baja número de flores femeninas reduce la

ramificación por lo que polinización es insuficientes, este es uno de los principales factores que limitan la producción de semillas de *Jatropha curcas* y por lo tanto el rendimiento de aceite.

Los frutos que vienen de flores con polinización cruzada son significativamente más grandes, más pesados y más numerosas que las producidas por flores autógamas. Por lo tanto, no es de extrañar que las abejas desempeñen un papel positivo en la la polinización de *Jatropha curcas* (Abdelgadir, Johnson, & Van Staden, 2008)

Bajo condiciones óptimas, la floración y fructificación inicia después de 4-5 meses del trasplante y la primera cosecha se produce cerca de 7 meses después del trasplante, pero puede durar hasta el segundo año si la planta se poda para aumentar la de producción. La poda se recomienda para la construcción de arquitectura de árbol (Openshaw, 2000).

La poda se realiza mediante la eliminación de las ramas por debajo de 50 cm. Y más 80 cm. Este proceso permite la mecanización del cultivo de frutas (N. Tominaga).

De hecho, la poda promueve la ramificación al igual que el nitrato (N), la adecuada fertilización y el agua. Desde la vegetación está inversamente correlacionada con la floración y fructificación, el equilibrio se debe hacer entre el potasio (K), fosfato (P) y agua para tomar ventaja completa en el manejo cultural,

El K promueve espesor de la pared celular, que mejora resistencia a las enfermedades, en comparación con N que tiene el efecto contrario. Por otra parte la fertilización nitrogenada sólo tiene sentido si el agua está disponible. Sin embargo, una fertilización con NPK debe al menos compensar la eliminación de NPK por las frutas de cultivo, que es 14.3 a 34.3 Kg. de N, 0.7 a 7.0 Kg. de P, K y 14,3 a 31,6 Kg. / t de semillas (Jongschaap, Corre, Bindraban, & Brandenburg, 2007).

La productividad de la planta comienza a ser estable después del primer año, por lo general cuando los árboles son de 2-4 años de edad. La producción económica de las plantas de *Jatropha curcas* se extiende desde el primer año después de la siembra a 40 años. Sin embargo, este arbusto puede llegar a vivir hasta 100 años.

CAPITULO 3

3.1 Método de extracción de aceite y sus propiedades

La primera etapa en el proceso de producción de biodiesel es la extracción del aceite. Dependiendo de la escala de producción, la etapa de extracción se hace de la siguiente manera:

A pequeña escala, las frutas se limpian manualmente para retirarles materiales grandes como palos, tallos, hojas, basura, etc. después se le quita la cáscara. Cuando se usan semillas, pueden ser calentadas antes de prensarlas. Las prensas pueden ser manuales o de motor.

El aceite fresco que se obtiene del prensado puede estar contaminado con pequeñas partículas de pulpa, y hay que quitarlas ya sea esperando a que se asienten o filtrándolas.

El material que queda después del prensado, que todavía tiene entre 20% y 33% de aceite, puede ser utilizado como alimento para animales o como base para la producción de biogás.

La producción a pequeña escala es de interés para las granjas y cooperativas porque ofrece un medio sencillo de obtener aceite, gas y alimento para ganado (SAGARPA, <http://www.bioenergeticos.gob.mx>, 2012) (fig7).

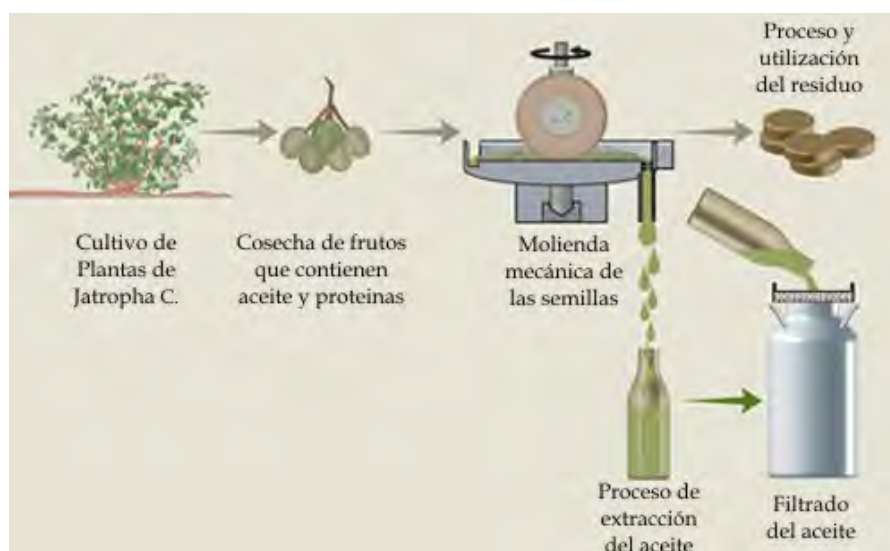


Fig.7 obtención del aceite de manera manual. (Olmedo, 2010)

A gran escala: Los frutos son cosechados cuando la semilla está madura esto ocurre 40 días después de la floración y luego se seca a <8% de humedad durante 2 días bajo el sol. Las propiedades físicas del fruto de *Jatropha* son esenciales para el diseño del equipo de cosecha, secado, limpieza, clasificación, descortezamiento, y su almacenamiento (Pradhan, Naik, Bhatnagar, & Vijay, 2014). Cuando se secan, los frutos son sobre 400 a 425 Kg. ⁻¹ y están compuestos de 35-40% de cáscara y las semillas de 60 a 65%.

Las semillas que se recogen son aproximadamente de 1580-1600 semillas / kg de fruta, pesan 600 a 640 mg cada una, representan el 4,980 cal / g (20,85 MJ / kg) con un contenido de aceite de 35% y un contenido energético de 9.036 cal / g (37.83MJ/kg), convirtiéndose en biodiésel mediante un proceso de transesterificación con una tasa típica de 17-18% y una pureza del éster de alquilo de 95-97% (Augustus, Jayabalan, & Seiler, 2002)

3.1.1 Método de obtención del biodiesel.

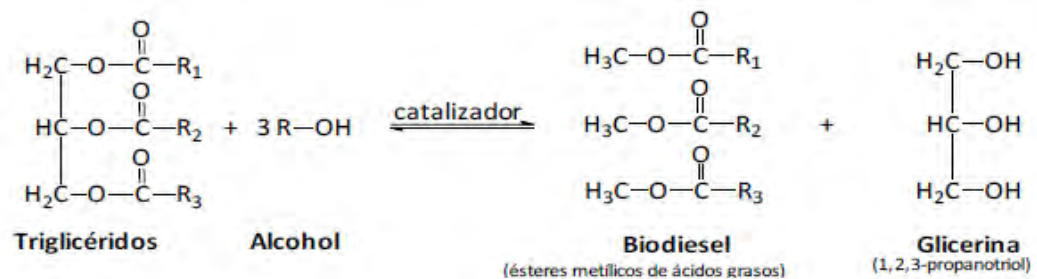
Existen varios métodos disponibles para transformar los aceites vegetales en carburantes. Realmente, solo nos enfocaremos en el último caso, (transesterificación) que es donde se obtiene un verdadero biodiesel. La obtención del mismo puede constar de cuatro formas principales para su transformación: el uso directo de aceites y mezcla de las mismas con gasóleo mineral, micro-emulsiones, craqueo térmico y transesterificación. Como se ha indicado, el método más comúnmente utilizado para la obtención de biodiesel es a través de la transesterificación de aceites vegetales o grasas animales (Leung, Wu, & H., A review on biodiesel production using catalyzed transesterification., 2010) (Eevera, Rajendran, & Saradha, 2009)

Las principales ventajas de los aceites vegetales como combustibles diesel, como ya ha sido referido, es la disponibilidad, ser renovables, tener menor contenido de azufre y contenido de aromáticos y ser biodegradables. Las principales desventajas de aceites vegetales como combustible diesel son una mayor viscosidad, menor volatilidad y la reactividad de las cadenas de hidrocarburos insaturados. Los problemas encontrados en las pruebas de motor a largo plazo, de acuerdo con Leung, Wu (2010) y diversos investigadores, pueden ser: formación de coque en los inyectores, más depósitos de carbón y el engrosamiento y la

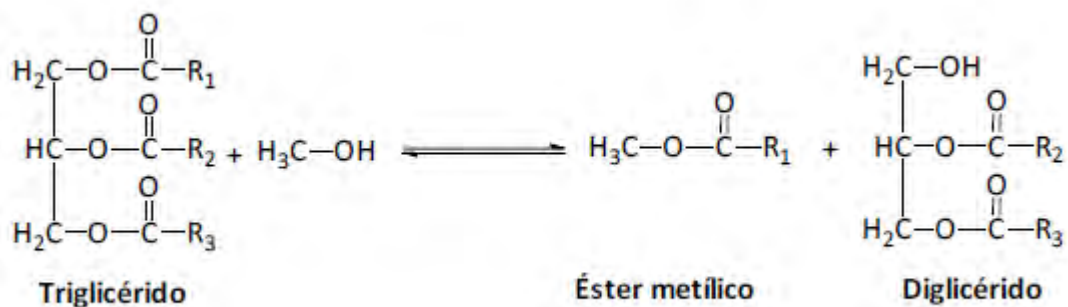
gelificación del aceite lubricante del motor. (Leung & Wu, A review on biodiesel production using catalyzed transesterification., 2010)

3.1.2 Método de Transesterificación:

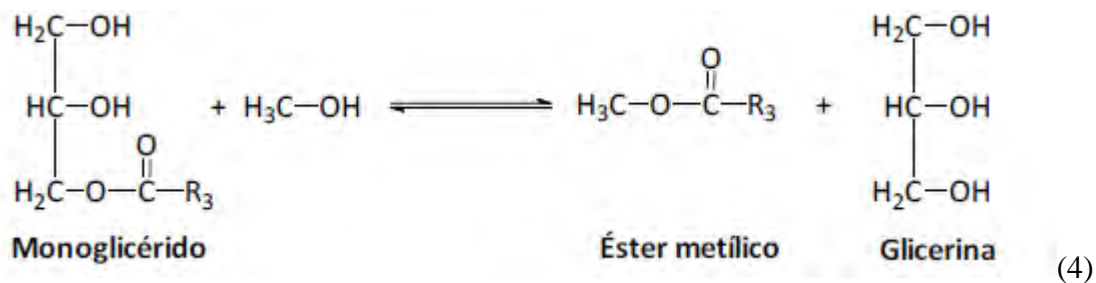
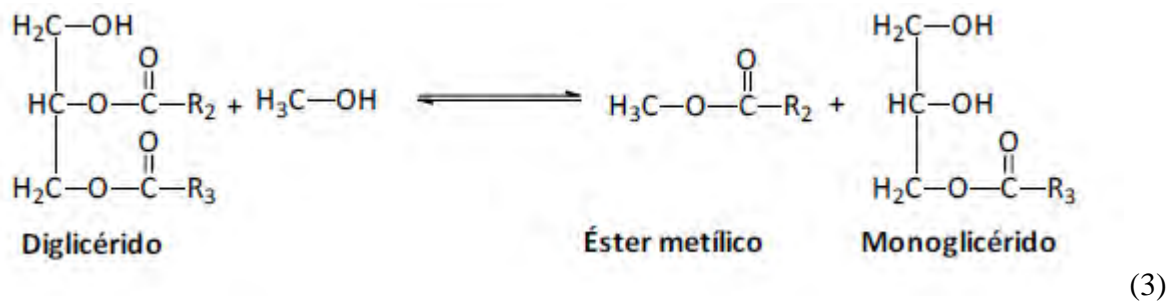
En la reacción de transesterificación de un aceite o grasa animal, los triglicéridos reaccionan con un alcohol, generalmente metanol o etanol, produciendo ésteres (biodiesel) y glicerina, tal como se muestra en la siguiente reacción (1). Para que la reacción transcurra a una velocidad adecuada, es necesaria la presencia de un catalizador en el medio (Ebert, 2008).



El proceso global implica una secuencia de tres reacciones reversibles en serie consecutivas (reacciones [2] a [4]).



(2)



En el primer paso, de los triglicéridos se obtiene el diglicérido, a continuación, del diglicérido se produce el monoglicérido y en el último paso, de los monoglicéridos se obtiene la glicerina. Como consecuencia de lo anterior, durante el proceso se liberan tres moléculas de ésteres metílicos, es decir, tres moléculas de biodiesel. La relación estequiométrica entre el alcohol y el aceite es 3:1. Sin embargo, dado el carácter reversible de las reacciones, un exceso del alcohol es apropiado para desplazar la reacción hacia la derecha, es decir, hacia el producto deseado (Ebert, 2008)

3.1.2.1 Alcoholes en el proceso de transesterificación - Relación molar alcohol: aceite

Entre los alcoholes, el metanol y el etanol son los que se utilizan con más frecuencia. El metanol, por su bajo coste y sus ventajas físico-químicas, ya que puede reaccionar a baja temperatura y con rapidez con los triglicéridos, es el más utilizado. Además, los catalizadores alcalinos se disuelven fácilmente en él. (Leung & Wu, A review on biodiesel production using catalyzed transesterification., 2010).

En general, las propiedades físicas y químicas y el rendimiento de los ésteres etílicos son comparables a los de los ésteres metílicos. Ambos tipos de ésteres tienen prácticamente el mismo contenido energético. Las viscosidades de los ésteres etílicos son ligeramente más altas que las de los ésteres metílicos. La realización de pruebas con motores han

demostrado que los ésteres metílicos aportan una potencia ligeramente superior a los ésteres etílicos (Kouzu & Yamanaka, 2009).

Cabe señalar que los ésteres de ácidos grasos obtenidos a partir de alcoholes ramificados tienen un mayor número de cetano que los ésteres de metilo, sin embargo, los precios más altos de los alcoholes ramificados y las modificaciones en el proceso que implicaría su uso, desaconsejan la utilización de estos alcoholes ramificados para la producción de biocombustible (Zhang, Sheng, Xin, Liu, & Sun, 2010).

La relación molar alcohol: aceite es una de las variables más importantes que afectan el rendimiento de la reacción. Según su estequiometría, la reacción de transesterificación requiere 3 moles de un alcohol y 1 mol de triglicéridos para dar 3 moles de éster monoalquílico de ácido graso y 1 mol de glicerina. Sin embargo, considerando que la reacción de transesterificación es un equilibrio químico, se puede conseguir un desplazamiento del mismo a la derecha utilizando relaciones metanol: aceite superiores a la estequiométrica. Cuando se utiliza un 100% de exceso de alcohol, la reacción transcurre a una alta velocidad llegando también a altos rendimientos de ésteres metílicos. Existe otro aspecto que es necesario considerar a la hora de fijar la cantidad de alcohol a utilizar, el alcohol no se solubiliza en los triglicéridos en proporciones molares mayores de 3:1, lo que provoca, al principio de la reacción, la existencia de tres fases, en el caso de la utilización de un catalizador sólido.

La existencia de tres fases en el momento inicial de la reacción dificulta el contacto entre ambos reactivos y el catalizador. En cambio, el exceso de alcohol favorece la obtención de biodiesel. Por estos motivos, la concentración inicial de alcohol debe fijarse manteniéndose una situación de compromiso entre la velocidad de difusión por la formación de dos fases de fluido y el desplazamiento de la reacción hacia la formación de biodiesel (Meher, Vidya Sagar, & Naik, 2006).

La relación molar alcohol: aceite no afecta el índice de acidez, de saponificación y de iodo de los ésteres alquílicos. Pero valores elevados de la relación molar alcohol: aceite pueden interferir en la separación de la glicerina debido a un aumento en la solubilidad. Cuando la

glicerina permanece en la solución, favorece el desplazamiento del equilibrio hacia la izquierda, disminuyendo la conversión de los ésteres.

La relación molar alcohol: aceite es asociada al tipo de catalizador empleado. Catálisis ácidas requieren cantidades de alcohol mayores de que catálisis básicas, para alcanzar el mismo porcentaje de conversión, en el mismo tiempo de reacción (Jiang, Lu, Qi, Yan, & Liang, 2010).

3.1.2.2 Temperatura de la reacción

La reacción de transesterificación es llevada a cabo en torno al punto de ebullición del alcohol, puesto que, al aumentar la temperatura del medio de reacción, se produce un aumento de la solubilidad del metanol en el aceite, originando una mayor velocidad de reacción. También se ha de tener en cuenta que dicho aumento de la temperatura se traducirá en mayores tasas de saponificación o cualquier otra reacción secundaria (Jiang, Lu, Qi, Yan, & Liang, 2010).

La temperatura influye claramente en la reacción de transesterificación y en el rendimiento del producto biodiesel. Una temperatura elevada puede disminuir la viscosidad del aceite, dando lugar a un aumento de la velocidad y a una disminución del tiempo de reacción. Sin embargo algunos autores mostraron que cuando la temperatura de reacción aumenta por encima del nivel óptimo, la conversión en biodiesel disminuye porque elevadas temperaturas de reacción aceleran la reacción de saponificación de los triglicéridos. La temperatura de reacción debe ser menor que el punto de ebullición del alcohol para asegurar que este no se pierde por vaporización (Leung, Wu, & H., A review on biodiesel production using catalyzed transesterification., 2010)

3.1.2.3 Velocidad de la agitación

Al inicio de la reacción, los triglicéridos y el metanol forman dos fases inmiscibles. Dado que la concentración de triglicéridos en metanol es baja, el rendimiento inicial de la reacción es bajo. Por lo tanto, en los momentos iniciales, la reacción es controlada por el mecanismo de transferencia de materia. La agitación es necesaria para aumentar el grado de mezcla de las dos fases y aumentar la velocidad de la transesterificación (Zhang, Sheng, Xin, Liu, & Sun, 2010)

A medida que los triglicéridos se convierten en ésteres de ácidos grasos, disminuye la viscosidad de la mezcla de reacción, produciéndose un aumento en la velocidad de la misma, y según avanza la reacción y más ésteres alquílicos se producen, se forma una única fase, los efectos de la mezcla van disminuyendo, el régimen de la reacción cambia a control cinético y la velocidad de reacción estará controlada principalmente por la temperatura. Por tanto, incrementando el grado de mezcla y la temperatura se obtendrán altas velocidades de reacción (Zhang, Sheng, Xin, Liu, & Sun, 2010)

3.1.2.4 Transferencia de materia (sistema monofásico o bifásico)

Como se ha indicado, para que la reacción de transesterificación alcance su rendimiento máximo es necesario utilizar exceso de alcohol. En los actuales procesos industriales de obtención de biodiesel se suele utilizar una relación molar metanol: aceite de 6:1, esto conlleva a que al inicio de la reacción el sistema esté constituido por un medio bifásico, ya que el alcohol no se solubiliza en los triglicéridos en proporciones molares mayores de 3:1. No obstante, el alcohol sí es soluble en los productos de reacción y, a su vez, los ésteres metílicos son solubles en los triglicéridos; por lo que con el avance de la reacción desaparece la interfase dando lugar a un sistema monofásico, siempre y cuando se utilicen catalizadores homogéneos. Sin embargo, a medida que progresa la reacción, aumenta la concentración de glicerina, siendo esta sustancia insoluble tanto en los ésteres como en los triglicéridos. Así pues, a medida que la reacción va llegando a su término, vuelven a formarse dos fases.

El cambio en el número de fases del sistema provoca que, inicialmente, la velocidad de reacción pueda estar controlada por la difusión de los reactivos entre las dos fases y tener, por ello, un valor bajo. Mientras al final, la formación de las dos fases es un fenómeno doblemente positivo dado que mejora el desplazamiento de la reacción hacia la formación de biodiesel y facilita la separación de los productos de reacción. Por este motivo, la concentración inicial de alcohol no debe ser muy alta, debiéndose llegar a una situación de compromiso entre la necesidad de una alta velocidad, y, paralelamente, una alta conversión de triglicéridos, y la necesidad de separar el producto final (Tomasevic & Siler-Marinkovic, 2003).

Un método enzimático de extracción también está disponible (Shah, Sharma, & Gupta, 2004). Se da esencialmente el mismo tipo de aceite de la extracción obtenida con hexano, pero es aproximadamente 12 veces más rápido. En condiciones de operación industrial, la tasa de extracción de aceite puede ser mucho menor y por lo general 35% por extracción mecánica o 40% disolviendo el extracto de la semilla, acerca de > 10% de aceite permanece en la torta de semillas después de la extracción.

Dada la alta variabilidad en la tasa de extracción de aceite que se encuentran en las aplicaciones prácticas, la producción puede variar mucho de un lugar a otro, sin embargo, en Brasil es generalmente 1-2 t / ha.

El aceite extraído de la nuez de *Jatropha curcas* contiene aproximadamente un 24,6% de proteína cruda, grasa cruda 47.2% y 5.5% de humedad (Akintayo, 2004)

El aceite de la semilla tiene una buena estabilidad a la oxidación en comparación con el aceite de soja, de baja viscosidad en comparación con el aceite de ricino y un bajo punto de congelación (la temperatura donde se inicia para convertirse en sólidos) en comparación con la palma de aceite. Además, el biodiesel es estable en caso de almacenamiento (Augustus, Jayabalan, & Seiler, 2002). El perfil de composición de ácidos grasos que corresponden a estas características es C14: 0 (1.4%), C16: 0 C18 (15,6%), 0 (9,7%), C18: 1 (40,8%), C18: 2 (32,1%), y C20: 0 (0.40.4%) (Foidl, Foidl, Sanchez, Mittelbach, & Hackel, 1996)

Las propiedades del combustible de biodiesel de *Jatropha* se acercan a los de diesel fósil y pueden cumplir con los estándares americanos y europeos (Tiwari, Kumar, & Raheman, 2007) Se trata de un importante potencial de biomasa, sin embargo, en el momento, la torta de semilla es transferido al campo de cultivo para abono (Shah, Sharma, & Gupta, 2004). Alternativamente, puede ser fermentado para la producción de biogás.

Esta libera más energía que el estiércol de ganado, la torta de semillas también se puede convertir en estufa para el consumo doméstico o industrial. (Mahanta, Gupta, & Khare, 2008) también investigaron la torta de semillas como un sustrato para la producción industrial de enzimas como las proteasas y lipasas.

CAPITULO 4. RENDIMIENTOS, COSTOS Y BENEFICIOS DEL CULTIVO DE *JATROPHA CURCAS*.

4.1 RENDIMIENTOS

El rendimiento por hectárea, después de los 5 años puede alcanzar hasta 5 toneladas de semilla seca por hectárea con semillas que contienen entre 35 y 40% de aceite. De estas 5 toneladas 1.8 a 2 son de aceite y 3.25 toneladas de un subproducto que puede ser vendido como alimento para ganado: una torta que contiene 57% de proteínas. En el documento de SENER-BID-GTZ el valor de la tonelada de torta es de \$508 pesos (este precio es para 2004, año de referencia del estudio). (SAGARPA, 2012)

4.2 COSTOS AGRÍCOLAS

Según el estudio del INE del año 2007, tomando como base los datos de la primera planta de procesamiento de biodiesel establecida en Michoacán, se obtuvieron los siguientes costos (Tabla 3).

TABLA3. Costos de la producción de *Jatropha curcas* en el Estado de Michoacán.

Componente del costo	Michoacán
Costo agrícola (terreno y siembra)	\$ 1,800
Planta (1,100 a 1,500 plantas/ha).	\$ 3,500
Cosecha y transporte	\$ 1,800
Otros (fertilizantes, riegos, deshierbe)	\$ 4,000
Costo total	\$ 11,100 (1,019 dólares por hectárea)

El costo final es bastante elevado debido a que incluye la inversión inicial en la compra de plantas o semillas y en la preparación del terreno. En los años posteriores sólo hay que tomar en cuenta gastos de fertilización, riego y limpieza del terreno y cosecha y transporte.

Según el documento de SENER-BID-GTZ, tomando en cuenta la experiencia de otros países, se estima que el costo por hectárea en edad de plena producción puede llegar a 1,150 pesos.

En el mismo documento se calcula que el costo primo (es decir, el costo sumado de la mano de obra y los insumos agrícolas directos) del litro de biodiesel es de 2.64 pesos, ya descontados los beneficios de la venta de subproductos que se describen a continuación.

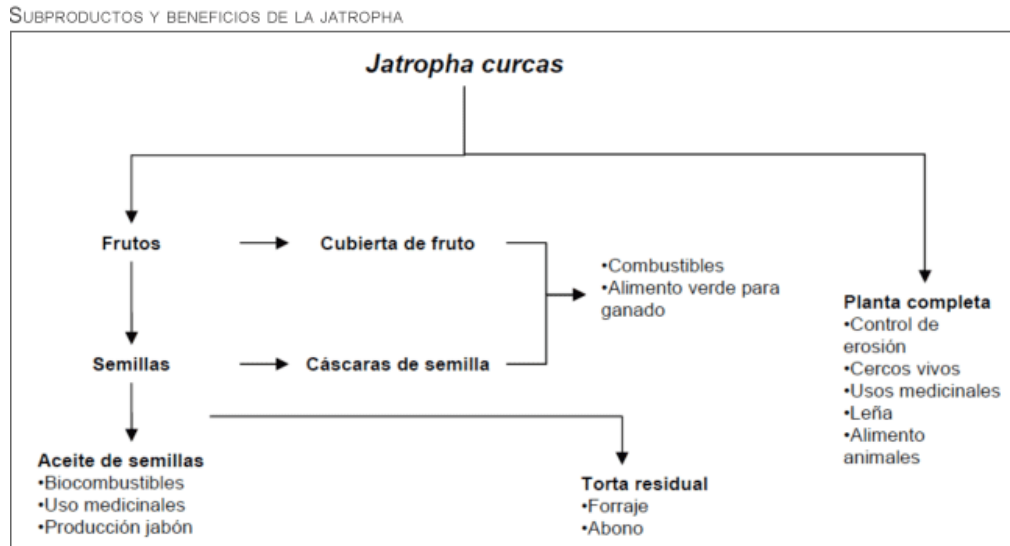
- Las cáscaras de la semilla tienen un alto contenido calórico (16 MJ por kilogramo), por lo que se pueden usar o vender como combustibles en las comunidades rurales del programa de estufas eficientes. Las estufas eficientes funcionan con *pellets* de madera que tienen 18 MJ por kilogramo, es decir, sólo dos más que las cáscaras de *Jatropha*.
- La semilla es rica en nitrógeno, fósforo y potasio, por lo que puede emplearse como fertilizante natural de los propios campos de *Jatropha* o venderse para fertilizar otros cultivos.

Porcentajes de subproductos del proceso de producción de aceite de *Jatropha*:

- Semillas: 65%:
- Aceite: 38%.
- Torta residual: 62%.
- Cáscaras: 35%.

El siguiente es un esquema de los subproductos y los beneficios de la *Jatropha* (fig8):

Fig.8 productos y subproductos derivados de la *Jatropha curcas*. (SAGARPA, bioenergéticos, 2012)



4.3 IMPACTOS, BENEFICIOS, OBJETIVOS Y RIESGOS EN EL CULTIVO DE *Jatropha curcas*.

4.3.1 Impactos:

Impactos positivos en el desarrollo:

- Generación de empleos en comunidades rurales.
- Beneficios para inversionistas y productores.
- Productores en comunidades rurales aseguran ingreso adicional duradero.
- Uso de terrenos improductivos.
- Obtención de bonos de carbono y certificados de reducción de emisiones de CO₂.
- Se evita la utilización de alimentos para elaboración de biocombustibles.
- Se participa en programas y mecanismos relacionados con energía limpia.

- Promoción de la sustentabilidad en el medio rural.

4.3.2 Beneficios en el medio ambiente:

- Captura de CO₂ atmosférico.
- No se interviene en el ciclo del Carbono.
- Se evita la desertificación, la deforestación y degradación en los suelos.
- Se favorece la bio-diversidad y conservación ecológica en zonas marginales.
- Reducción en el uso de energía fósil primaria.
- Disminución de las emisiones de CO₂ (gas de efecto invernadero).

4.3.3 Beneficios a inversionistas:

- Ganancias económicas de acuerdo con los términos y condiciones en los proyectos.
- Acceso al mercado de biomasa y biocombustibles.
- Acceso al mercado de bonos de carbono.
- Obtención de certificados de reducción de emisiones de CO₂.
- Deductibilidad de las inversiones
- Creación de capacidad técnica y comercial. (Henning, R. K. (2005))

4.3.4 Beneficios a productores:

- Ganancias económicas de acuerdo con los términos y condiciones en los proyectos.
- Aseguramiento de ingresos adicionales duraderos.
- Acceso a biocombustibles.
- Obtención de asistencia técnica y capacitación.
- Aprovechamiento de suelos improductivos marginales.
- Disminución de la dependencia en cultivos agrícolas alimentarios.

- Mayor influencia en el ámbito rural.
- Se evita la degradación de los suelos y la deforestación.
- Creación de capacidad técnica y comercial. (Henning, R. K. (2005))

4.3.5 Objetivos en el cultivo de *Jatropha*.

Producción sustentable de biomasa y biocombustibles para consumo local.

- Captura de dióxido de carbono atmosférico (reducción de emisiones).
- Asegurar recursos alternativos de energía.
- Disminuir la interdependencia y vulnerabilidad en el abastecimiento de petróleo.
- Opción frente al decremento en las reservas de petróleo y otros combustibles fósiles.
- Reducir las emisiones de CO₂ frente al cambio climático global.
- Mejorar las condiciones económicas en el sector rural.
- Desarrollo regional mediante nuevas actividades.
- Fomentar la biodiversidad y la conservación ecológica.
- Propiciar cambios positivos considerando que el mercado agrario en países en desarrollo subsiste aceptando precios bajos, y en países desarrollados subsiste mediante subsidios altos.
- Promover inversión en ejidos y comunidades sin desplazar a sus habitantes.
- Fomentar el uso de energía renovable sustentable.
- Aprovechamiento de suelos no aptos para producción alimentos.
- Aprovechar las condiciones favorables de clima y suelos.
- Proporcionar asistencia técnica y capacitación a productores agrícolas y pecuarios.
- Apoyar a productores e inversionistas en el desarrollo de proyectos.

- Fomentar la expansión de cultivos regionales sustentables mediante proyectos piloto.
- Crear capacidad técnica y comercial.
- Tener influencia positiva, nacional e internacional, en los sectores gubernamentales y privados con relación a leyes y reglamentos sobre la producción de biomasa para obtención de bio-energía.
- Apoyar el desarrollo de infraestructura en un entorno equitativo y abierto.
- Aprovechamiento de los subproductos derivados de la elaboración de biocombustibles.
- Generar contratos de producción de biomasa en regiones rurales.
- Obtener beneficios de los bonos por captura de carbono en plantaciones.
- Obtener certificados por reducción de emisiones de CO₂.
- Evitar la desertificación y la degradación de los suelos.
- No utilizar alimentos para producción de energía.
- Propiciar la formación de asociaciones de productores de biomasa y biocombustibles que permitan ingresos adicionales a productores e inversionistas en comunidades rurales. (Henning, 2005)

4.3.6 Riesgos.

- Riesgos Naturales: Incendios, plagas y enfermedades en los cultivos; productividad menor a la esperada; sequías; inundaciones; vientos dañinos y heladas.

- Factores Antropogénicos: Invasión de terrenos; robo de cosechas; vandalismo; Escasez de fuerza laboral y fenómenos sociales negativos e insospechados.

- Riesgos Políticos: Cambios en las políticas; inestabilidad en los gobiernos.

- Factores Económicos: Cambios en tasas de interés; moneda; costos; precios a la baja de la biomasa, biocombustibles y bonos de carbono; disponibilidad de terrenos.

4.4 CONCLUSIONES.

Los resultados mostraron que en Quintana Roo la situación acerca de la factibilidad de la producción de biodiesel con *Jatropha curcas* es un problema ya que no se cuenta con la infraestructura ni el recurso económico adecuado. Se necesita una planta procesadora con las características necesarias para la extracción del aceite y productos derivados, así como la producción de biodiesel, De esta manera le sea más redituable a los agricultores de la zona, y no gasten en el transporte de las semillas hasta TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS, donde se encuentra la planta procesadora de biodiesel.

De manera experimental productores de Othón P. Blanco y Bacalar han sembrado unas 600 a 700 hectáreas de esta planta, pero no cuentan con un paquete tecnológico que les permita acceder a créditos de instituciones federales o estatales de tal manera que tendrán costos excesivos para la producción de biodiesel y terminaran por vender el fruto para que alguien más realice ese trabajo, sin que se les reditué a los productores de la zona. Aunado a esto se tiene que aumentar la producción de semillas de esta oleaginosa, ya que con la cantidad de hectáreas sembradas hasta el momento no se logra cubrir las necesidades para una producción de biodiesel vasta.

Se concluye que la producción de biodiesel por medio de las plantaciones de piñón no será correctamente aprovechada, esto debido a la falta de investigación científica, además se necesita respaldar con información y asesoría técnica especializada para que los productores junto con el financiamiento adecuado puedan obtener el máximo aprovechamiento. Los proyectos que inician sin apoyos económicos y sin la investigación necesaria, especialmente cuando la base central para la producción son los pequeños y medianos agricultores, quienes son los dueños de las tierras y la mano de obra, pero a su vez necesitan apoyo constante debido a que sufren en su capital. Además se debe tomar en cuenta el tiempo, para establecer las bases del proyecto y el periodo de investigación experimental y de fases de prueba en las plantaciones de los productores. Se debe brindar a los productores una extensa información de las características y riesgos del proyecto, al igual que una capacitación a cerca del manejo de sus plantaciones. De este

modo, los agricultores evitarán formarse falsas expectativas y tendrán mayor seguridad en los resultados del proyecto.

Las políticas públicas en México se encuentran orientadas a impulsar el desarrollo comercial de agrocombustibles, la producción de biodiesel de piñón para su comercialización en el país puede ser factible en el mediano plazo, si se implementan las políticas públicas necesarias para promover acciones integrales que aumenten la competitividad de la red, en relación a la disminución de costos de producción de biodiesel y aumento de subsidios para los productores.

Referencias:

Artículos:

- Abdelgadir, H. A., Johnson, S. D., & Van Staden, J. (2008). Approaches to improve seed production of *Jatropha curcas* L. *SAJB Annual Meeting Abstracts*.
- Achten, W. M., & Verchot, L. (2008). *Jatropha* bio-diesel production and use. *Biomass and*, 1063–1084.
- Agarwal, A. (2007). Biofuels (alcohols and biodiesel) Applications as Fuels for Internal. *Progress in Energy and Combustion Science*, 233-271.
- Akintayo, E. T. (2004). Characteristics and composition of *Parkia biglobbosa* and *Jatropha curcas* oils and cakes. *Bioresource Technology*, 307–310.
- Álvarez, M. (2009). Biocombustibles: desarrollo histórico-tecnológico, mercados. *Economía Informa*, 63-89.
- Augustus, G. D., Jayabalan, M., & Seiler, G. J. (2002). Evaluation and bioinduction of energy components of *Jatropha curcas*. *Biomass and Bioenergy*, 161-164.
- Balat, M. (2008). A critical review of bio-diesel as a vehicular fuel. *Energy Conversion and Management*, 2727-2714.
- Banjo, A. D., Lawal, O. A., & Aina, S. A. (2006). The entomofauna of two medicinal Euphorbiaceae in southwestern Nigeria. *journal of applied science research*, págs. 858-863.
- Barkin, D. (1991). Un desarrollo distorsionado: la integración de México a la economía mundial. *México, Siglo Veintiuno Editores*, 52.
- Barros, G. S., Silva, A. P., Ponchio, L. A., Alves, L. A., Osaki, M., & Cenamo, M. (2006). Custos de produção de biodiesel no Brasil. *Revista de Política Agrícola*, 36-50.
- Beerens, P. (2007). *Screw-pressing of Jatropha seeds for fueling purposes in less developed countries*. Master of Science dissertation Eindhoven University of Technology.

- Carvalho, A. M., Moreira, B. C., Silva, M. C., & Silva, N. D. (2007). Fungos Micorrízicos Arbusculares em Plantios de Pinhão Manso (*Jatropha curcas* L.). *XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*.
- Demirbas, A. (2008). Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections. *Energy Conversion and Management*, 2106–2116.
- Ebert, J. (2008). Supercritical Methanol for Biodiesel Production. *Biodiesel Magazine*, 80-85.
- Evera, T., Rajendran, K., & Saradha, S. (2009). Biodiesel production process optimization and characterization to assess the suitability of the product for varied environmental conditions. *Renewable Energy*, 762-765.
- F., M., & Hanna, M. (1999). Biodiesel Production: A Review. *Bioresource Technology*, 1-15.
- Foidl, N., Foidl, G., Sanchez, M., Mittelbach, M., & Hackel, S. (1996). *Jatropha curcas* L. as a source for the production of biofuel in Nicaragua. *Bioresource Technology*, 77-82.
- Francis, G. (2005). A concept for simultaneous wasteland reclamation, fuel production, and socio-economic development in degraded areas in India: Need, potential and perspectives of *Jatropha* plantations. *Natural Resources*, 12-24.
- Freire, F. C., & Parente, G. B. (2006). As doenças das Jatropas (*Jatropha curcas* L. e *J. podagrica* Hook.) no estado do Ceará. *Comunicado Técnico EMBRAPA*, 123-126.
- Ganesh Ram, S., & Parthiban, K. T. (2008). Genetic diversity among *Jatropha* species as revealed by RAPD markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 803-809.
- Gheerbrant, E. a.-C. (2006). Paleobiogeography of Africa: How distinct from Gondwana and Laurasia? *Palaeogeography, Palaeoclimatology, paleoecology*, 224-246.
- Gui, M., Lee, K. T., & Bhatia, S. (2008). Feasibility of edible oil vs. non-edible oil vs. waste edible oil as biodiesel feedstock. *Energy*, 1646–1653.
- Haga, N. (2004). Vegetable Oils as Fuels in Diesel generating sets. *10a Conferencia Internacional Ambiental*. Estambul.

- Jiang, W., Lu, H.-f., Qi, T., Yan, S.-l., & Liang, B. (2010). Preparation, application, and optimization of Zn/Al complex oxides for biodiesel production under sub-critical conditions. *Biotechnology Advances*, 610-620.
- Jongschaap, R. E. (2007). Claims and facts on *Jatropha curcas* L. Plant Research International B.V., Wageningen, The Netherlands. *South African Medical Journal*, págs. 729–730.
- Jongschaap, R. E., Corre, W. J., Bindraban, P. S., & Brandenburg, W. A. (2007). Claims and facts on *Jatropha curcas* L. Plant Research International B.V., Wageningen, The Netherlands. 129-130.
- Kochhar, S. (2008). Effect of auxins and associated biochemical changes during clonal propagation of the biofuel plant – *Jatropha curcas*. *Biomass and Bioenergy*, 1136–1143.
- Kouzu, M., & Yamanaka. (2009). Heterogeneous catalysis of calcium oxide used for transesterification of soybean oil with refluxing methanol. *Applied Catalysis A: General*, 94-99.
- Kumar, A., & Sharma, S. (2008). An evaluation of multipurpose oil seed crop for industrial uses (*Jatropha curcas* L.): A review. *Industrial Crops and Products*, 1-10.
- Lapuerta, M., & Rodriguez, J. (2008). Diesel particulate emissions from used cooking oil biodiesel. *Bioresource Technology*, 731-740.
- Leung, D. Y., & Wu, X. L. (2010). A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. *Applied Energy*, 1083-1095.
- Leung, D. Y., Wu, X. L., & H., M. K. (2010). A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. *Applied Energy*, 1083-1095.
- López, R. (2008). *POTENCIAL DE PRODUCCION DE SEMILLA DE JATROPHA CURCAS EN SINALOA*. Juriquilla, Qro.
- Mahanta, N., Gupta, A., & Khare, S. K. (2008). Production of protease and lipase by solvent tolerant *Pseudomonas aeruginosa* PseA in solid-state. *Bioresource Technology*, 1729–1735.
- Makkar. (1998). Edible provenances of *J. curcas* from Q. Roo state of Mexico and effect roasting on antinutrient and toxic factors in seeds. *plant food for human nutrition*, 31-36.

- Martínez, P. (1995). *Economía Mundial*. España: McGraw- Hill.
- Meher, L. C., Vidya Sagar, D., & Naik, S. N. (2006). Technical aspects of biodiesel production by transesterification-a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 248-268.
- Nuñez, Y. (2009). *Estudio descriptivo del comportamiento del piñón (Jatropha curcas L.)*. honduras.
- Openshaw, K. (2000). A review of *Jatropha curcas*: An oil plant of unfulfilled promise. *Biomass and Bioenergy*, 1-15.
- Raju, A. J. (2002). Pollination ecology and fruiting behaviour in a monoecious species, *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae). *Current Science*, 1395–1398.
- Randelli, F. (2009). An Integrated Analysis of Production Costs and Net Energy Balance of Biofuels. *Regional Environmental Change*, 221-229.
- Sánchez, A., Martínez, J., & Martínez, A. (s.f.). *OBTENCION DE BIODIESEL A PARTIR DEL ACEITE DE Jatropha curcas L. DE MÉXICO EN*.
- Sánchez, L. (2007). ¿Cómo llega México a la era de los agrocombustibles? *en trabajadores*, 2-9.
- Saturnino, H. M., Pacheco, D. D., Kakida, J., Tominaga, N., & Gonçalves, N. P. (2005). Cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). *Informe Agropecuario*, 44-78.
- Shah, S., Sharma, A., & Gupta, M. N. (2004). Extraction of oil from *Jatropha curcas* L. seed kernels by enzyme assisted three phase partitioning. *Industrial Crops and Products*, 275–279.
- Sujatha, M., & Reddy, T. P. (2008). Role of biotechnological interventions in the improvement of castor (*Ricinus communis* L.) and *Jatropha curcas* L. *Biotechnology Advances*, 424-435.
- Tiwari, A. K., Kumar, A., & Raheman, H. (2007). Biodiesel production from *Jatropha* oil (*Jatropha curcas*) with high free fatty acids: An optimized process. *Biomass Bioenergy*, 569-575.
- Tomasevic, A. V., & Siler-Marinkovic, S. S. (2003). Methanolysis of used frying oil. *Fuel Processing Technology*, 1-16.
- Van Gerpen, J., & B. Shanks, R. (2004). Biodiesel Production Technology. *Renewable Energy Laboratory*, 106.

- Veronique, J. B., Chornick, T., & James, K. D. (2002). Comparison of methods to measure the oil contents in oilseeds. *Journal of Oleo Science*, págs. 589–597.
- Willems, P., Kuipers, N. J., & De Haan, A. B. (2008a). Gas assisted mechanical expression of oilseeds: Influence of process parameters on oil yield. *Journal of Supercritical Fluids*, págs. 298-305.
- Willems, P., Kuipers, N. J., & De Haan, A. B. (2008b). Hydraulic pressing of oilseeds Experimental determination and modeling of yield and pressing rates. *Journal of Food Engineering*, págs. 8–16.
- Wurdack, K. J. (2008). Molecular evolution and phylogenetics of Euphorbiaceae: Beyond the model organisms. *Plant and Animal Genomes XVI Conference* . San Diego, CA.
- Zamarripa, C. A., Martínez-Herrera, J., De la Piedra, C. R., & Olivera, D. I. (2008). Biocombustibles: perspectivas de producción de biodiesel a partir de *Jatropha curcas* L., en el trópico de México. *Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Rosario Izapa.*, (pág. 30). chiapas.
- Zhang, F.-L., Niu, B., & Wang, Y.-C. (2008). A novel betaine aldehyde dehydrogenase gene from *Jatropha curcas*, encoding an enzyme implicated in adaptation to environmental stress. *Plant Science*, 510-518.
- Zhang, L., Sheng, B., Xin, Z., Liu, Q., & Sun, S. (2010). Kinetics of transesterification of palm oil and dimethyl carbonate for biodiesel production at the catalysis of heterogeneous base catalyst. *Bioresource Technology*, 8144-8150.

Referencias Electrónicas:

Alfonso, B. J. (06 de noviembre de 2014). *www.gotaverde.org*. Obtenido de Manual para el cultivo de Piñón (*Jatropha curcas*) en Honduras.:

<http://www.gotaverde.org/userfiles/file/D17c%20Manual%20Cultivo%20Jatropha.pdf>

energeticos, c. (28 de octubre de 2014). <http://www.jatrophacurcasweb.com.ar/>. Obtenido de <http://www.jatrophacurcasweb.com.ar/semillas.php>

FAO. (14 de agosto de 2009). *www.fao.org*. Obtenido de

<http://www.fao.org/docrep/011/i0100s/i0100s00.htm>

Henning, R. K. (2005). <http://www.underutilized-species.org>. Obtenido de rural population (target group) in selected countries in Africa. http://www.underutilized-species.org/Documents/PUBLICATIONS/jatropha_curcas_africa.pdf.

INEGI. (2014 de noviembre de 2014). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Mapas de climas*. Obtenido de <http://www.inegi.org.mx/default.aspx>

Olmedo, F. (06 de agosto de 2010). <http://www.biodisol.com>. Obtenido de

<http://www.biodisol.com/capacitacion/produccion-de-biodiesel-a-partir-de-aceite-de-jatropha-curcas/>

PEMEX. (julio de 2008). *Todo sobre la reforma energética: los 25 principales desafíos de Petróleos Mexicanos*. Obtenido de

<http://www.pemex.com/index.cfm?action=content§ionID=137&catID=12240>

Pradhan, R. C., Naik, S. N., Bhatnagar, N., & Vijay, V. K. (23 de octubre de 2014). Obtenido de

http://www.researchgate.net/publication/232403967_Moisture-dependent_physical_properties_of_jatropha_fruit

SAGARPA. (22 de noviembre de 2012). *bioenergeticos*. Obtenido de

<http://www.bioenergeticos.gob.mx/index.php/biodiesel/produccion-a-partir-de-jatropha.html>

SAGARPA. (22 de noviembre de 2012). <http://www.bioenergeticos.gob.mx>. Obtenido de <http://www.bioenergeticos.gob.mx/index.php/biodiesel/produccion-a-partir-de-jatropha.html>

SEMARNAT. (2010). <http://biblioteca.semarnat.gob.mx>. Obtenido de <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/DO2454.pdf>

SIAP. (06 de noviembre de 2014). *Jatropha.. Producción Anual. Cierre de la Producción Agrícola por Estado*. Obtenido de http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351