

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO**



**DETERMINACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECÓNOMICA
DEL CULTIVO DE *Jatropha curcas* L. EN UN ÁREA DE LA ZONA
CITRÍCOLA DE NUEVO LEÓN, MÉXICO.**

TESIS DE MAESTRÍA

**COMO REQUISITO PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

PRESENTA:

BIÓL. ÁNGEL ADALBERTO DÍAZ SÁNCHEZ

LINARES, NUEVO LEÓN.

DICIEMBRE DEL 2011



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO

**DETERMINACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y
ECONÓMICA DEL CULTIVO DE *Jatropha Curcas* L. EN UN ÁREA
DE LA ZONA CITRÍCOLA DE NUEVO LEÓN, MÉXICO.**

TESIS DE MAESTRÍA

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES

PRESENTA

BIÓL. ÁNGEL ADALBERTO DÍAZ SÁNCHEZ

COMITÉ DE TESIS

Dr. Horacio Villalón Mendoza

Director de tesis

Dr. Fortunato Garza Ocañas

Dr. Artemio Carrillo Parra

Asesor

Asesor

DEDICATORIA

A mis padres, Silvia Sánchez Ponce y José Ángel Díaz Morales, les agradezco su apoyo, su guía y confianza en la realización de mis sueños. Soy afortunado por contar con su amor, comprensión y ejemplo.

A mis abuelitos Eleazar Morales Calvillo y Fermín Díaz Juárez, les agradezco su apoyo hacia mis padres, mis hermanos. Siempre están dispuestos a darnos un consejo cuando lo necesitamos y sobre todo, por su gran ejemplo de lucha, respeto y humildad que siempre han demostrado.

A mis abuelitos Jovita Sánchez y Joaquín Arreola, por darme a la gran mamá que tengo, y por esa fuerza que tienen para salir adelante en momentos adversos.

A mis hermanos Verónica, Lorena y Fermín, por estar conmigo siempre y por hacer de la vida más amena.

A Lluvia por su gran apoyo y compañía.

A toda mi familia.

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento al Dr. Horacio Villalón Mendoza, por el apoyo que recibí durante mi trabajo de tesis, por sus consejos para mejorar en la tesis, en lo personal y en lo laboral, muchas gracias.

A mis asesores; Dr. Fortunato Garza Ocañas y Dr. Artemio Carrillo Parra, por aportar sus conocimientos dentro de mis estudios en la Facultad de Ciencias Forestales y sobre todo por sus aportaciones valiosas a mí trabajo de tesis.

A mis compañeros con los que viví los dos años que estuve en maestría Indira, Carla y Zurita.

A mis compañeros y amigos de maestría Josué, Ramiro, Cesar, Mane, Chihuas, Talavera, Canul, Chávelo, Chicharito, Santiago, Galeana, Chuy, Raúl etc.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | Página |
|---|--------|
| 1.- RESUMEN..... | 1 |
| 2.- ABSTRACT..... | 3 |
| 3.- INTRODUCCIÓN..... | 5 |
| 4.- JUSTIFICACIÓN..... | 9 |
| 5.- HIPÓTESIS..... | 11 |
| 6.- OBJETIVOS..... | 11 |
| 7.- ANTECEDENTES..... | 12 |
| 7.1.- Descripción de la especie..... | 12 |
| 7.2.- Ecología y Adaptación..... | 13 |
| 7.3.- Fisiología Vegetal..... | 14 |
| 7.4.- Producción, densidad de siembra y podas..... | 14 |
| 7.5.- Métodos de propagación..... | 15 |
| 7.6.- Uso medicinal..... | 15 |
| 7.7.- Subproductos de <i>Jatropha Curcas</i> L..... | 16 |
| 7.8.- Áreas de interés productivo en México..... | 18 |
| 7.9.- Productos industriales..... | 19 |
| 8.- MATERIALES Y MÉTODOS..... | 20 |
| 8.1.- Pruebas de germinación..... | 20 |
| 8.2.- Área de plantación..... | 20 |
| 8.3.- Preparación del área de plantación..... | 21 |

| | |
|--|----|
| 8.4.- Protección del área de plantación..... | 21 |
| 8.5.- Producción de planta..... | 22 |
| 8.6.- Plantaciones experimentales..... | 22 |
| 8.7.- Traslado de planta a campo..... | 23 |
| 8.8.- Trasplante..... | 23 |
| 8.9.- Sistema de riego..... | 24 |
| 8.10.- Monitoréo de la plantación..... | 24 |
| 8.11.- Producción..... | 25 |
| 8.12.- Tratamientos contra las bajas temperaturas..... | 26 |
| 8.13.- Evaluación de los costos de plantación..... | 25 |
| 9.- RESULTADOS..... | 28 |
| 9.1.- Pruebas de germinación..... | 28 |
| 9.1.1.- Porcentaje de germinación..... | 28 |
| 9.1.2.- Velocidad de germinación..... | 30 |
| 9.2.- Producción de planta..... | 31 |
| 9.3.- Plantaciones experimentales..... | 31 |
| 9.3.1.- Plantación radial..... | 31 |
| 9.3.2.- Plantación productiva..... | 34 |
| 9.4.- Desarrollo de floración y frutos..... | 36 |
| 9.5.- Producción..... | 37 |
| 9.6.- Tratamientos contra las bajas temperaturas..... | 38 |
| 9.7.- Costos de la plantación..... | 41 |

| | |
|-----------------------------------|----|
| 10.- DISCUSIÓN..... | 42 |
| 11.- CONCLUSIONES..... | 44 |
| 12.- LITERATURA CITADA..... | 45 |
| 13.- PÁGINAS WEB CONSULTADAS..... | 52 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| Figura | Página |
|--|--------|
| 1 Subproductos generados durante la producción de aceite <i>Jatropha curcas</i> L..... | 17 |
| 2 Porcentajes de subproductos del proceso de producción de aceite de <i>Jatropha curcas</i> L..... | 17 |
| 3 Superficie de la Republica Mexicana con potencial productivo de <i>Jatropha curcas</i> L..... | 18 |
| 4 Semillas germinadas (concentraciones de 100 ppm)..... | 20 |
| 5 Localización del área de estudio..... | 21 |
| 6 Planta en vivero..... | 22 |
| 7 Trasplante a campo..... | 24 |
| 8 Sistema de riego..... | 24 |
| 9 Medición del diámetro basal y altura..... | 25 |
| 10 Tratamientos contra las bajas temperaturas cartón, costales, tierra y pacas..... | 26 |
| 11 Valores medios del porcentaje de germinación de las semillas..... | 28 |
| 12 Valores medios de la velocidad de germinación de las semillas de <i>Jatropha Curcas</i> L., en las dosis de ácido giberélico y el testigo..... | 30 |
| 13 Altura media de los espaciamientos de plantación radial..... | 32 |
| 14 Diámetro basal medio de los espaciamientos de plantación radial..... | 33 |
| 15 Altura media de los espaciamientos de plantación productiva..... | 34 |

| | | |
|----|--|----|
| 16 | Diámetro basal medio de los espaciamientos de plantación productiva.... | 35 |
| 17 | Floración y frutos de <i>Jatropha Curcas</i> L..... | 36 |
| 18 | Precipitaciones mensuales en el área de plantación..... | 37 |
| 19 | Plantas dañadas por las bajas temperaturas..... | 38 |
| 20 | Tratamiento de tierra contra las bajas temperaturas..... | 38 |
| 21 | Temperaturas mínimas que se registraron en la plantación..... | 39 |
| 22 | Valores medios en altura del rebrote de los tratamientos contra las bajas temperaturas..... | 39 |
| 23 | Número de rebrotes en los tratamientos que se aplicaron a la <i>Jatropha</i> <i>Curcas</i> L., contra las bajas temperaturas..... | 40 |

ÍNDICE DE CUADROS

| Cuadro | Página |
|--|--------|
| 1 Arreglo de investigación radial..... | 23 |
| 2 Arreglos productivos..... | 23 |
| 3 Rendimiento por hectárea a partir del primer año de establecimiento hasta el quinto año, nivel tecnificado bajo riego..... | 25 |
| 4 Rendimiento por hectárea a partir del primer año de establecimiento hasta el quinto año, nivel no tecnificado..... | 25 |
| 5 Formato para la evaluación de los costos..... | 27 |
| 6 Resultados del análisis de varianza (ANOVA) en el porcentaje de germinación de las semillas de <i>Jatropha Curcas</i> L., tratadas con diferentes dosis de ácido giberélico..... | 29 |
| 7 Prueba de Tukey, comparación de los valores medios de las distintas dosis de ácido giberélico y el testigo..... | 29 |
| 8 Análisis de varianza (ANOVA) de la velocidad de germinación de las semillas de <i>Jatropha curcas</i> L., tratadas con diferentes dosis de ácido giberélico..... | 30 |
| 9 Análisis de varianza (ANOVA) en altura de los diferentes espaciamientos de plantación..... | 32 |

| | | |
|----|--|----|
| 10 | Prueba de Tukey, de la altura de los diferentes espaciamientos de plantación radial..... | 33 |
| 11 | Análisis de varianza (ANOVA) del diámetro basal de los distintos espaciamientos de plantación radial..... | 34 |
| 12 | Análisis de varianza ANOVA, de la altura de los distintos espaciamientos de plantación productiva..... | 35 |
| 13 | Análisis de varianza (ANOVA) del diámetro basal de los distintos espaciamientos de plantación productiva..... | 36 |
| 14 | Análisis de varianza (ANOVA) en la altura del rebrote de los distintos tratamientos contra las bajas temperaturas..... | 40 |
| 15 | Prueba de Tukey, comparación del testigo con los tratamientos que se aplicaron contra las bajas temperaturas en altura..... | 41 |
| 16 | Costos de producción de planta y establecimiento de <i>Jatropha curcas</i> L., en un área de la Región Citrícola del estado de Nuevo León, México..... | 42 |

1. RESUMEN

La disminución de los combustibles fósiles, su alto costo en el mercado y el incremento de los gases de efecto invernadero resultantes de la combustión de los mismos, conducen a buscar y estudiar especies vegetales capaces de producir biodiesel y bioetanol. En México es preciso considerar el uso y obtención de energías alternativas mediante acciones integrales que incluyan aspectos técnicos, económicos y medioambientales, en el sector agrario e industrial, así como en la investigación y desarrollo tecnológico. *Jatropha curcas* L., es nativa de México y Centroamérica, se desarrolla en climas tropicales. Las semillas contienen de 55% a 60% de aceite y producen de 0.5 a 12 t ha⁻¹ año⁻¹, por lo que es considerada como una especie viable para la producción de biodiesel. En el presente trabajo, se estableció una plantación experimental de *Jatropha curcas* L., con el fin de determinar la factibilidad técnica y económica de su cultivo. La plantación se realizó en el “Rancho Aguas Claras”, Municipio de Montemorelos, Nuevo León, México. Propiedad del Ing. Cesar Montemayor. Se eligieron cuatro hectáreas. En el laboratorio se realizaron ocho tratamientos de germinación con ácido giberélico a concentraciones de 50, 100, 150, 200, 250, 300, 500, 1000 ppm y un testigo. Se implementaron cinco tratamientos de forma radial y dos arreglos productivos, con cuatro repeticiones cada uno a diferentes espaciamientos de plantación. Se probaron cuatro tratamientos y un testigo, para prevenir el efecto adverso de las bajas temperaturas durante el invierno 2010 en la plantación. Los tratamientos que se aplicaron fueron: costales, cartón, pacas, tierra y el testigo. Se midió el crecimiento y número de rebrotes de cada uno de los tratamientos después de las bajas temperaturas. Se evaluó la producción de semilla en los dos años de investigación. Se evaluaron los costos del primer y segundo año. Los resultados en el laboratorio indican que el tratamiento con

concentración de 100 ppm, presentó un porcentaje de germinación del 84% para el día siete. El tratamiento que tuvo mayor crecimiento en los arreglos de investigación radial fue el tratamiento dos, bajo un espaciamiento de plantación de 1.5*1.75 m con 3810 plantas por ha⁻¹. La altura media fue de 1.45 m y diámetro basal medio de 4.85 cm. En los arreglos de producción el tratamiento seis tuvo un mayor crecimiento, reportando una altura media de 1.45 m y en diámetro basal de 5.1 cm, bajo un espaciamiento de plantación de 1*1*4 m hilera sencilla, con 2500 plantas por ha⁻¹. Se reportaron temperaturas de -3.5°C y 2°C., en la plantación. Todas las plantas de los diferentes tratamientos sufrieron quemaduras en hojas y tallo, sin embargo se observó que la parte basal de la planta cubierta de tierra no presentó ningún daño. El rebrote de los tratamientos se empezó a medir de marzo (dos meses después de las bajas temperaturas) hasta octubre, y se encontró que el tratamiento de tierra tuvo una mayor recuperación en crecimiento con 149 cm y en número de rebrotes con 10. La producción de semilla de *Jatropha Curcas* L., para los primeros dos años que duro la presente investigación no se pudo determinar. El costo del establecimiento de la plantación para 4 ha⁻¹ en el primer año fue de \$116,550.00 pesos. En el segundo año la inversión fue mucho menor con \$10,700.00 pesos.

2. ABSTRACT

The decline of fossil fuels, its high cost in the market and the increase of greenhouse gases resulting from combustion, lead to find and study plants species capable of producing fuels such as biodiesel and bioethanol. In México is necessary to consider the use and production of alternative energy sources through comprehensive measures including technical, economic and environmental issues in agriculture and industry, as well as research and technological development. *Jatropha curcas* L., is a native plant of México and Central America, its habitat is in tropical climates. The seeds have 55% a 60% oil and a reported performance of 0.5 to 12 t year⁻¹ ha⁻¹, which is considered as a viable specie for the production of biodiesel. The goal of the present research was to establish an experimental plantation of *Jatropha curcas* L., to determine the technical feasibility and cost of cultivation. The plantation was established in the "Rancho Aguas Claras" Municipality of Montemorelos, Nuevo León, México. Property that belongs to Cesar Montemayor Engineer. Four hectares were chosen. Eight gibberellic acid germination treatments were done in the laboratory at concentrations of 50, 100, 150, 200, 250, 300, 500, 1000 ppm and a witness. Five treatments were implemented in a radial system and two productive arrangements with four replicates each at different planting distance. Four treatments were tested each with its witness to prevent the adverse effect into the plantation of low temperatures during 2010 winter. Next treatments were applied: sacks, cardboard, bales, soil earth and the witness. Growth was measured and the number of shoots of each treatment after the low temperatures period. The production of the seed was evaluated during the two years of research. Costs were assessed from the first and second year. The laboratory results indicate that treatment with 100 ppm, showed a germination

rate of 84% in the seventh day. Treatment two had a greater increase in the radial arrangements research, under a planting distance of 1.5*1.75 m with 3810 plants per ha⁻¹. The average height was 1.45 m and the average of basal diameter was 4.85 cm. treatment number six had a higher growth in the production arrangements, reporting an average height of 1.45 m and a basal diameter of 5.1 cm under a planting spacing of 1*1*4 m single row, with 2500 plants per ha⁻¹. Temperatures of -3.5°C and 2°C were reported on the plantation. All treatments plants were ice burned in leaves and stem, however it was noted that the basal part of the plant soil ground covered showed no damages. Since March (two month later after low temperatures were recorded) until October, the regrowth treatments started being measured, resulting that soil treatment had a greater recovery in growth (149 cm) and in the number of shoots (10). For the first two years of the present research the production of the *Jatropha Curcas* L. seed, could not be determined. The 4 ha⁻¹ plantation establishment cost in the first year was \$116,550.00 pesos. In the second year the investment was much smaller with \$10,700.00 pesos.

3. INTRODUCCIÓN

Ante el grave problema de la contaminación ambiental, el hecho de que las reservas de combustibles fósiles vayan a la baja y el constante incremento del precio internacional de los mismos, muchos países han decidido impulsar el desarrollo y uso de fuentes de energías alternativas, que ofrecen grandes ventajas sobre las fuentes energéticas actuales, ya sea por su menor efecto contaminante o fundamentalmente por su posibilidad de renovación (Martínez, 2007).

En el ámbito mundial, el 89% del consumo total de energía se produce a partir de fuentes no renovables y sólo el 11% proviene de fuentes renovables como la energía eólica, geotérmica, hidráulica, mareomotriz, solar y la bioenergía (SAGARPA, 2009).

De acuerdo al estudio de la Secretaría de Energía (SENER, 2006), la producción de biodiesel a escala comercial puede ser factible en el mediano plazo, si se implementan acciones integrales que deben incluir aspectos técnicos, económicos y medioambientales, de concertación con el sector agrario y agroindustrial, así como un esfuerzo importante en investigación y desarrollo tecnológico.

Como materia prima en la industria del biodiesel, *Jatropha curcas* L., es una planta que presenta ventajas competitivas frente a otras oleaginosas, tales como sus bajas exigencias a nivel agronómico, pudiendo ser sembrada en suelos degradados y aportando a su recuperación; así mismo, es compatible con otro tipo de cultivos (Martínez *et al.*, 2006).

A nivel comercial, no afecta el mercado alimenticio, es un producto tóxico para el ser humano y su cosecha puede ser recolectada manualmente, proporcionando así posibilidades de empleo para las regiones marginadas (Montoya *et al.*, 2008).

Esta planta es originaria de México y América Central (Héller, 1996). En la Península de Yucatán se le conoce por el nombre de “Sikil-Te”. Se distribuye en Chiapas, Oaxaca, Quintana Roo, Guerrero, Hidalgo, Puebla, Veracruz, Tamaulipas, Sinaloa y Sonora (SAGARPA, 2011). Actualmente está distribuida en varias partes del mundo, ya que los españoles la llevaron a Portugal, país desde el cual fue llevada a Asia y África (Bittner *et al.*, 2001).

Es un arbusto pequeño de corteza grisácea que exuda un látex blanquecino no muy espeso, cuando sus tallos o ramas son cortados. Normalmente crece a una altura entre tres y cinco metros, y en ocasiones su altura puede llegar a los ocho o diez metros en condiciones climáticas y de cultivo muy favorables (Joker *et al.*, 2003; Héller, 1996).

El sistema de radicular consiste de 3-4 raíces laterales y una vertical, la vertical puede llegar hasta una profundidad de 5 m, es por eso que la *Jatropha curcas* L., es resistente a la sequía (Joker *et al.*, 2003; Héller, 1996).

Sus hojas son grandes, alternas de color verde a verde pálido. En sus flores, el peciolo mide entre seis y veintitrés milímetros (Joker *et al.*, 2003; Héller, 1996).

La inflorescencia se forma en la axila de las hojas. De cada inflorescencia se obtienen alrededor de diez frutos, los cuales maduran cuando su caparazón cambia de color verde a amarillo, dos o tres meses después de la floración. La floración ocurre en la época de lluvia y la muda de sus hojas en la estación seca (Joker *et al.*, 2003; Héller, 1996).

Es una planta perenne que vive entre 40 y 50 años. Su producción inicia en el primer año, pero su máximo de producción lo alcanza hasta el año cinco de vida (SAGARPA, 2011).

La producción puede ser desde 0.5 a 12 t ha⁻¹ año⁻¹, según el tipo de suelo, fertilización y condiciones de riego. En tierras de buena calidad y precipitaciones de 900-1200 mm anuales, la producción es de aproximadamente cinco t ha⁻¹ año⁻¹ (Francis *et al.*, 2005).

Las semillas en México contienen 55% a 60% de aceite que puede ser convertido a biodiesel por un proceso llamado transesterificación. La conveniencia de conversión del aceite a biodiesel ha sido claramente demostrada por diversos investigadores, con rendimientos del 92%. Las propiedades físico-químicas del biodiesel, cumple con los estándares europeos, además presenta ventajas sobre el diesel pues disminuye la emisión de contaminantes. Las emisiones de dióxido de carbono no han sido todavía medidas. 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 en comparación con el petro-diesel (Francis *et al.*, 2005).

En este sentido la *Jatropha curcas* L., constituye una alternativa válida para la obtención de biocombustibles. La sustentabilidad de los sistemas productivos con esta especie requiere ser investigada a profundidad en condiciones experimentales-demostrativas de campo. El presente trabajo tiene como finalidad determinar la factibilidad técnica y económica del cultivo *Jatropha curcas* L., en un área de la Zona Citrícola del estado de Nuevo León, México.

4. JUSTIFICACIÓN

Los combustibles de origen fósil han sido muy útiles en el desarrollo de la sociedad, en particular para México han sido una base para el desarrollo nacional. Sin embargo, la diversificación de fuentes primarias de energía, favorece la seguridad energética al disminuir nuestra dependencia de una sola fuente de energía, por lo que se debe fomentar la diversificación de tecnología para el usos de combustibles alternativos. Es deseable incorporar las fuentes renovables a los sistemas de producción de energía (SAGARPA *et al.*, 2008).

Actualmente, se considera que la biomasa posee un gran potencial en la obtención de combustibles. Los cultivos de especies oleaginosas son considerados como la mejor opción para la producción de biodiesel (SAGARPA, 2009).

De acuerdo a Zamarripa (2008), el estado de Nuevo León, presenta áreas con superficies de 100 mil a 175 mil ha con alto potencial, para el establecimiento de *Jatropha Curcas* L.

El aceite de la semilla de ésta planta, puede utilizarse para elaborar biodiesel que funciona en motores de combustión interna, se puede usar mezclado en diferentes proporciones con el diesel o al 100 por ciento; es compatible con casi todos los motores que actualmente operan con diesel, toda vez que los vehículos no requieren de ninguna modificación en el motor y tienen la misma eficiencia que el diesel común (Martínez, 2007).

Por lo anterior, debido al interés de productores privados, así como a la necesidad de tener asegurado recursos alternativos energéticos sustentables para el estado de Nuevo León, en el presente trabajo se llevará a cabo una plantación experimental de *Jatropha curcas* L. Los resultados permitirán evaluar la factibilidad técnica y económica del establecimiento de esta especie, en condiciones ambientales características de la región citrícola del estado de Nuevo León, México.

5. HIPÓTESIS

- Es factible establecer técnica y económicamente el cultivo de *Jatropha curcas* L. en un área de la Zona Citrícola de Nuevo León, México.

6. OBJETIVOS

- Establecer una plantación experimental de *Jatropha curcas* L., como una alternativa para el desarrollo energético sustentable, en la Zona Citrícola del estado de Nuevo León, México.
- Determinar el potencial productivo de la especie, como fuente alternativa para la producción de energía, en esta Zona.

7. ANTECEDENTES

Jatropha curcas L., pertenece a la familia Euphorbiaceae, es nativa de México y Centroamérica. En el estado de Morelos se le conoce como piñón, piñoncillo o pistache mexicano. La planta es resistente a la sequía y crece en suelos pobres y arenosos, en climas tropicales y semitropicales, en altitudes que van desde los 0 a los 1500 msnm. Se utiliza como cerca viva y reforestación en zonas erosionadas (Martínez *et al.*, 2006; Makkar *et al.*, 1998).

Su cultivo no es nuevo, desde la época de los mayas se tenía experiencia en el cultivo de esta planta. Actualmente se considera que en el sureste de México, los pobladores cuentan con un árbol en los solares y su uso es destinado a medicina (Makkar *et al.*, 1999).

7.1 Descripción de la especie

Es un arbusto de crecimiento rápido, cuya altura promedio es de dos a tres metros, pero puede alcanzar los seis metros. Los tallos crecen con una discontinuidad morfológica en cada incremento, es un cilindro verde robusto que produce ramas con savia láctea o rojiza viscosa. Normalmente se forman 5 raíces, 1 central y 4 periféricas. Las hojas son ovadas, tienen pecíolos largos con una longitud de 10 a 15 cm y una anchura de 9 a 15 cm, se colocan de forma alterna a subalterno opuesto con una filotaxis espiral, se caen durante la época seca. Cordadas en la base con 5 nervaduras y pubescentes en las nervaduras del envés. Las inflorescencias se forman terminalmente en el axial de las hojas de las ramas, son verdosas o blanco-amarillas de 10 a 25 cm de largo y con un pedúnculo de 4 a 10 cm de largo. Las flores femeninas presentan brácteas acuminadas y las masculinas presentan

brácteas aovadas y pedicelos pubescentes. Después de la polinización, se forma una fruta trilocular de forma elipsoidal. Los frutos son cápsulas inicialmente de color verde pero se vuelven café oscuro o negro cuando maduran. Las cápsulas de los frutos son de 2.5 a 4 cm de largo por 2 cm de ancho, elipsoidales y lisas que cuando maduran van cambiando a amarillas. Al inicio del desarrollo son carnosas pero dehiscentes cuando se secan. Cada inflorescencia presenta aproximadamente 10 frutos o más. El desarrollo del fruto necesita 90 días desde la floración hasta la madurez de la semilla. Cada fruto tiene tres almendras negras, cada una aproximadamente de 2 cm de largo y 1 cm de diámetro. La semilla es cosechada cuando la cápsula está madura y esta cambia de verde a amarillo (Octágon, 2006).

7.2 Ecología y adaptación

Esta especie no requiere un tipo de suelo especial para su establecimiento y desarrollo. Se desarrolla normalmente en suelos áridos y semiáridos. Crece casi en cualquier parte, incluso en las tierras cascajosas, arenosas y salinas. Se encuentra en los trópicos y sub trópicos, resiste muy bien el calor de hasta 40°C, aunque también soporta bajas temperaturas y puede resistir hasta una escarcha ligera 2°C. Su requerimiento de agua es sumamente bajo 250 a 600 mm de lluvia al año y puede soportar períodos largos de sequía. Tiene características de pesticida y fungicida. Las semillas al tener un grado de toxicidad no son comestibles y por ende no son llevadas por los pájaros o ingeridas por otro tipo de animales. Aporta oxígeno y retiene dióxido de carbono. Las hojas pueden tener aplicaciones medicinales. La biomasa que se obtiene de la cascara del fruto y de las

semillas se utiliza para generar biogás. Puede ser plantada en lugares donde la agricultura mecanizada es inviable (Garcés, 2000).

7.3 Fisiología vegetal

Con una buena humedad la germinación toma 10 días. Se abre la cáscara de la semilla, sale la radícula y se forman 4 raíces periféricas pequeñas. Poco después de los cotiledones emerge la primera hoja. Dependiendo de las condiciones de propagación y lluvia, el primer rendimiento de la semilla es en el primer año y puede producir durante 50 años (Muñoz, 2009).

7.4 Producción, densidad de siembra y podas

La producción de semillas varía de 0.5 a 12 t ha⁻¹ año⁻¹, según el tipo de suelo, fertilización y condiciones de riego. Desde el primer año (9-10 meses), se produce semilla. La producción de semilla es de 5 t ha⁻¹, en tierras adecuadas y precipitaciones de 900-1200 mm (Francis *et al.*, 2005).

Los espaciamientos entre las plantas que se utilizan de forma más frecuente son: 2x2 m, 2.5x2.5 m y 3x3 m, así se tendrían densidades de 2500, 1600 y 1111 plantas ha⁻¹, respectivamente. Puede ser asociado con cultivos de ciclo corto como tomate, pimiento sandía, zapallo, en este caso se utiliza otro espaciamiento entre plantas de 4x3 m, 4x4 m, 5x2 m, 5x3 m, 5x4m, 5x5 m (Muñoz, 2009).

Para facilitar la cosecha manual, las plantas deben tener una altura accesible para los recolectores del fruto. Se practican podas de formación al segundo año y podas de fructificación desde el tercer año y en los años subsecuentes (Muñoz, 2009).

7.5 Métodos de propagación

El piñón se puede propagar tanto asexualmente, como también de forma sexual (Muñoz, 2009).

Algunos métodos de propagación son:

- Siembra directa
- Siembra con raíz desnuda
- Siembra en bolsas plásticas
- Siembra en bandejas plásticas
- Siembra por estacas

El mejor método, es la siembra en bandejas, seguida del trasplante en bolsas plásticas (Muñoz, 2009).

7.6 Uso medicinal

Varias partes de la planta, incluyendo semillas, hojas y corteza; son usados en la medicina tradicional y para propósitos veterinarios. El látex de la planta contiene un alcaloide llamado “jatrofina”, que tiene propiedades anti cancerígenas. La semilla contiene curcin (proteína toxica) con efecto antitumoral. Además tienen propiedades purgantes, su uso

externo es eficaz contra lesiones dérmicas, reumatismo, retención de líquidos y estimulante de crecimiento de cabello. La cocción de las hojas es usada contra la tos y como un antiséptico después del parto. La savia que fluye del tallo es usada para contrarrestar las hemorragias de heridas. Las personas en el campo utilizan el látex diluido en agua para problemas de gastritis y erupciones de la boca. Las semillas en pequeñas dosis son purgativas, las dosis fuertes son peligrosas (Muñoz, 2009).

7.7 Subproductos de *Jatropha curcas* L.

En la figura 1 se muestran los diferentes subproductos generados durante la producción del aceite de *Jatropha Curcas* L. Algunas de las características de los subproductos de la *Jatropha Curcas* L., son las siguientes:

- a) el poder calorífico de las cáscaras de la semilla de *Jatropha* (16MJ/kg) es casi igual al de los pellets de madera (18 MJ/kg) por lo que se pueden vender como pellets de cáscara para la producción de energía en las comunidades rurales como un complemento del programa de estufas eficientes.
- b) la semilla es rica en nitrógeno (> 5%), fósforo (> 2.5 P₂O₅) y potasio (1% K₂O) por lo que otra posibilidad es que se use como fertilizante orgánico en sustitución de los fertilizantes químicos utilizados en el cultivo de la propia *Jatropha* o vendidos en el mercado local.
- c) la pasta de la semillas (torta residual) tiene entre 58% a 60% de proteína cruda y un nivel de aminoácidos esenciales que le dan un importante valor como alimento para animales, por lo que se estima que pueda ser vendido a un precio de hasta el 80% de la pasta de soya (Saxena, 2006).

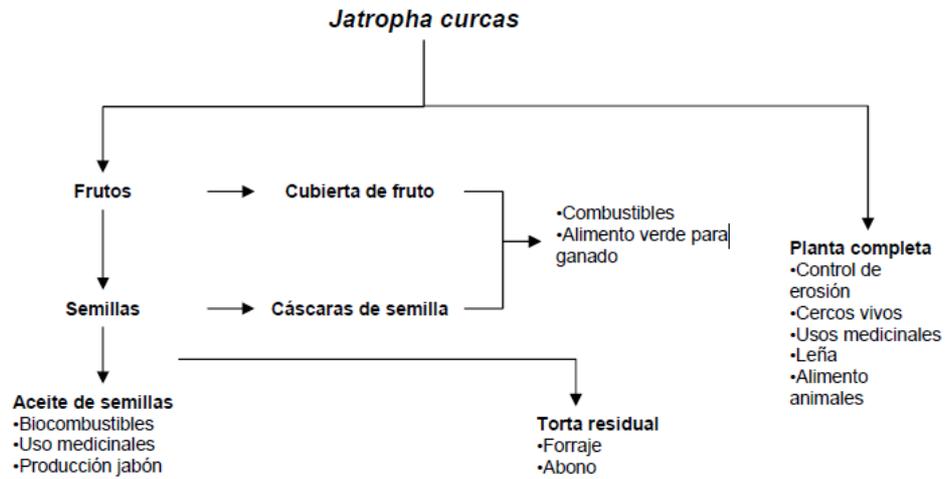


Figura 1.- Subproductos generados durante la producción de aceite *Jatropha curcas* L.

(Héller, 1996)

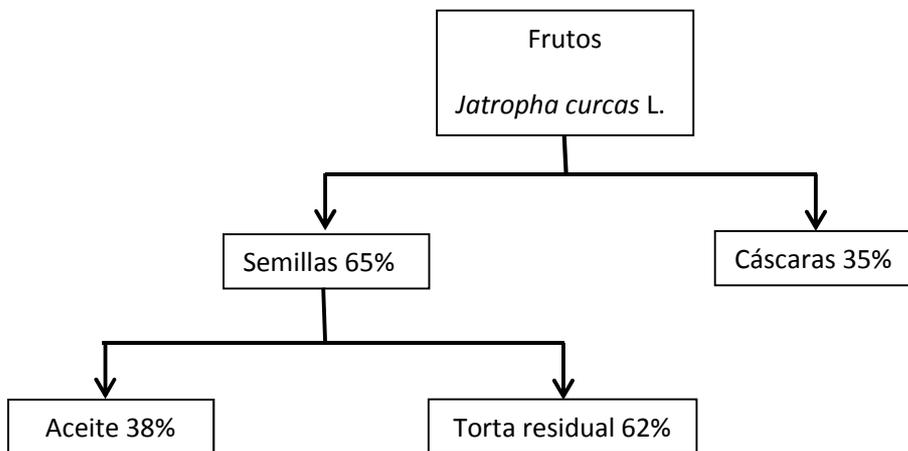


Figura 2.- Porcentajes de subproductos del proceso de producción de aceite de *Jatropha*

curcas L. (Héller, 1996).

7.8 Áreas de interés productivo en México

A nivel nacional se estimaron alrededor de 2.6 millones de hectáreas con alto potencial para el cultivo del piñón a una altitud de 0 a 1000 msnm con temperaturas 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. Los estados de Veracruz, Yucatán, Colima, Jalisco, Oaxaca y Nuevo León tienen superficies superiores a 100 mil y menores a 175 mil hectáreas con alto potencial productivo. Diez estados presentaron menos de 25 mil ha, con potencial alto (Figura 3) (Zamarripa *et al.*, 2008).

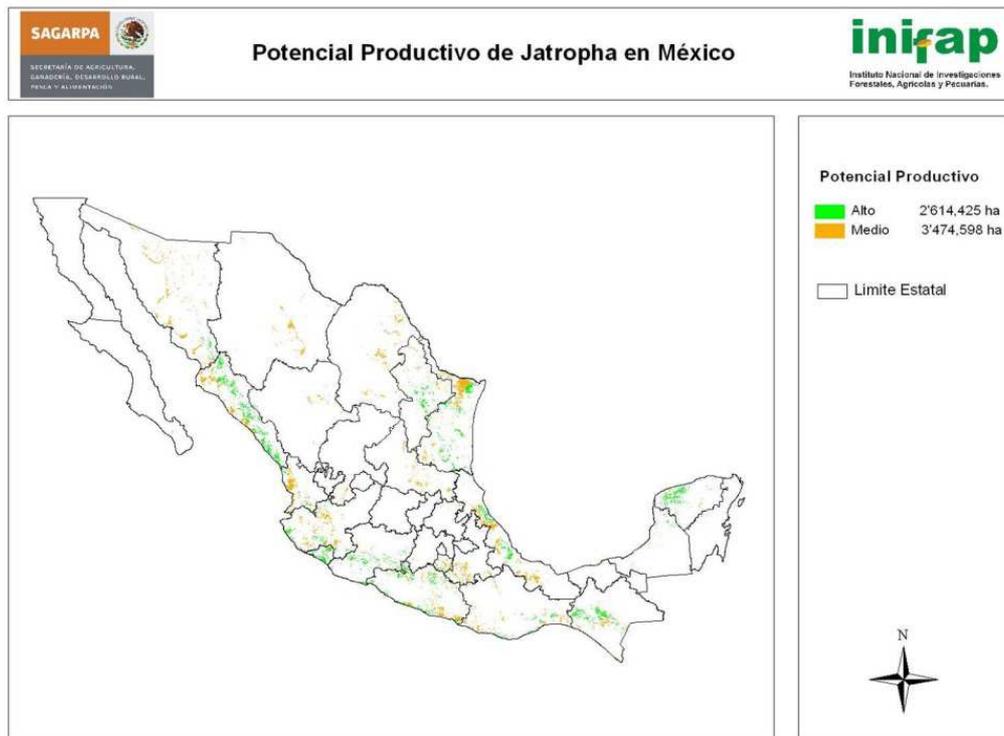


Figura 3.- Superficie de la Republica Mexicana con potencial productivo de *Jatropha curcas* L (INIFAP, 2008).

7.9 Productos industriales

El aceite de las semillas es utilizado como materia prima en muchos países para la manufactura de velas, jabón y barniz. También se utiliza en lámparas de aceite, en estufas como combustible que reemplaza al queroseno, se puede procesar para usarlo como sustituto del diesel. Las raíces y corteza pueden ser utilizadas en la industria de la tinta. El color negro azulado se produce de la corteza y el amarillo se obtiene de las raíces (Aguhob, 2006).

La empresa Geo Estratos con sede en Tamaulipas se dedica a la producción de aditivos a base de *Jatropha curcas* L., conocidos como bioreductores, que mejora la calidad del petróleo pesado haciéndolo más manejable al permitir que fluya fácilmente a través de las tuberías de producción (Geo Estratos, 2011).

Actualmente la planta de *Jatropha curcas* L., es cultivada en India y África, con la finalidad de transformar el aceite en biodiesel. En la India, su cultivo había estado en manos de pequeñas productores, actualmente se contempla sembrar hasta 40 millones de ha. British Petroleum (BP) 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 biodiesel de *Jatropha curcas* L., (FAO, 2010).

8. MATERIALES Y MÉTODOS

8.1 Pruebas de germinación

Para las pruebas de germinación de las semillas, se evaluó un tratamiento de ácido giberélico a diferentes concentraciones (50, 100, 150, 200, 250, 300, 500 y 1000 ppm.) y 1 testigo, con cuatro repeticiones y 100 semillas cada uno, a una temperatura de 20°C. Se registró la cantidad de semillas germinadas por día y el porcentaje de germinación, por un espacio de 30 días (Figura 4). Las variables que se evaluaron fueron los porcentajes y número de días necesarios para la germinación de las semillas. Para determinar la existencia de diferencias entre las medias de los tratamientos, se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) con una significancia de .05.



Figura 4.- Semillas germinadas (concentraciones de 100 ppm).

8.2 Área de plantación

La plantación se estableció en el Rancho Aguas Claras, Municipio de Montemorelos, Nuevo León, México. Propiedad del Ing. Cesar Montemayor. Se ubica en una Latitud 25°3'37.68"N y Longitud 99°41'32.99"O a 407 msnm (Figura 5). El área seleccionada para realizar la plantación, consta de 4 hectáreas, cubierta de pastizal introducido.

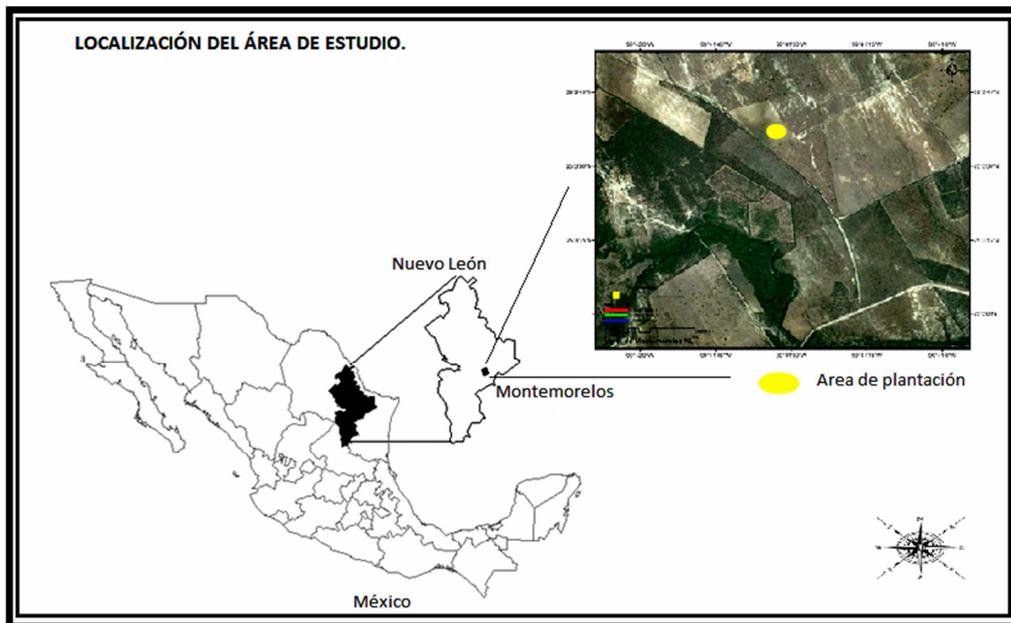


Figura 5. -Localización del área de estudio.

8.3 Preparación del área de plantación

El terreno se limpió con maquinaria agrícola usando arado, rastra y bordeador, para remover el suelo. Con el fin de eliminar posibles patógenos y asegurar una mayor sobrevivencia de plantas. Se trazaron curvas a nivel para retener el suelo y mantener la humedad.

8.4 Protección del área de plantación

El área de plantación se cercó con alambre eléctrico y púas, como medida de protección contra la fauna silvestre o animales domésticos.

8.5 Producción de planta

Se produjeron 4000 plantas. La producción de la planta se realizó en el vivero de la Facultad de Ciencias Forestales de la U.A.N.L. Las semillas se colocaron en bolsas con capacidad de 500 ml. El sustrato se preparó con tierra de la región, mezclada con peat moss, perlita y fertilizante Osmocote® 18-6-12 (Figura 6).



Figura 6.- Planta en vivero

8.6 Plantaciones experimentales

Las plantaciones se realizaron con un arreglo de investigación experimental radial (Villalón *et al.*, 1997). Con cinco espaciamientos de plantación (tratamientos) y cuatro repeticiones (Cuadro 1). Dos arreglos productivos (Villalón *et al.*, 1997). Con dos espaciamientos de plantación (tratamientos) y cuatro repeticiones (Cuadro 2). Con la finalidad de determinar cual densidad de plantación es la mejor para esta especie, bajo las condiciones ambientales de la Zona Citrícola de Nuevo León.

Cuadro 1.-Arreglo de investigación radial.

| Tratamientos | Espaciamiento (m) | Densidad (plantas ha ⁻¹) |
|--------------|-------------------|--------------------------------------|
| T1 | 1*1 | 10,000 |
| T2 | 1.5*1.75 | 3810 |
| T3 | 2*2.25 | 2222 |
| T4 | 2.5*2.75 | 1455 |
| T5 | 3*3 | 1111 |

Cuadro 2.-Arreglos productivos.

| Tratamientos | Espaciamiento (m) | Densidad (plantas ha ⁻¹) |
|--------------|-----------------------|--------------------------------------|
| T6 | 1*1*4 hilera sencilla | 2500 |
| T7 | 1*1.75*4 doble hilera | 3478 |

8.7 Traslado de planta a campo

Se trasladó la planta del vivero de la Facultad de Ciencias Forestales de la U.A.N.L., al área de plantación, en un camión cerrado para evitar que la planta sufriera algún daño. En el área de plantación se busco que la planta quedara cercas de un depósito de agua para regarla hasta su trasplante.

8.8 Transplante

El transplante se efectuó de forma manual tomando en cuenta que la raíz de la planta quedará cubierta completamente de tierra, para realizar los pozos se utilizaron pala y barra. En todo momento se tuvo cuidado de no dañar la planta (Figura 7).



Figura 7.- Trasplante a campo.

8.9 Sistema de riego

Se instaló un sistema de riego por medio de cintillas, las cuales fueron colocadas a lo largo de los surcos de la plantación (Figura 8).



Figura 8.- Sistema de riego.

8.10 Monitoréo

Se tomaron los datos de los diferentes tratamientos de espaciamiento en forma mensual, la altura se midió desde la base de la planta hasta la terminación de las ramas (Figura 9), el diámetro se tomó en la base de la planta (Figura 6).

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA), para determinar la existencia de diferencias entre los tratamientos de plantación, en la altura y el diámetro basal.



Figura 9.- Medición del diámetro basal y altura.

8.11 Producción

De acuerdo a López (2010), la proyección de producción de semilla de *Jatropha Curcas* L., en un plan de inversión tecnificado bajo riego y en uno no tecnificado, es el siguiente:

Cuadro 3.- Rendimiento por hectárea a partir del primer año de establecimiento hasta el quinto año, nivel tecnificado bajo riego (López, 2010).

| Año de producción | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|
| Kilogramos ha ⁻¹ | 118.18 | 1190.91 | 2968.18 | 4468.18 | 5959.09 |

Cuadro 4.- Rendimiento por hectárea a partir del primer año de establecimiento hasta el quinto año, nivel no tecnificado (López, 2010).

| Año de producción | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------------------------|-------|--------|---------|---------|---------|
| Kilogramos ha ⁻¹ | 59.09 | 595.45 | 1484.09 | 2234.09 | 2979.55 |

Como se puede observar el rendimiento en producción en un plan de inversión no tecnificado es del 50% menos que el tecnificado. Esto puede variar de acuerdo a las condiciones ambientales de la región y del suministro de riego que se aplique a la

plantación. Se tomaran los primeros dos años, que es el tiempo que dura la presente investigación.

8.12 Tratamientos contra las bajas temperaturas

Se implementaron diferentes tratamientos para proteger la planta de las bajas temperaturas, en el testigo no se aplicó tratamiento. Se enredo cartón en la planta y se sujeto con hilos, al igual que los costales de nylon. Las pacas se colocaron alrededor de las plantas. Se colocó tierra en la parte basal de la planta (FAO, 2010). Se tomaron 11 plantas por tratamiento, con cuatro repeticiones (Figura 10).

Se midió el crecimiento y número de rebrotes de cada uno de los tratamientos después de las bajas temperaturas. Para determinar la existencia de diferencias entre los tratamientos, se realizaron análisis de varianza (ANOVA).



Figura 10.- Tratamientos contra las bajas temperaturas cartón, costales, tierra y pacas (FAO, 2010).

8.13 Evaluación de los costos de la plantación

Los costos de la plantación se evaluaron en dos etapas, a) los costos del primer año, donde se especifican las actividades realizadas, así como el costo total de cada una de ellas y b) costo total de la inversión. De igual manera para los costos del segundo año (Cuadro 5).

Cuadro 5.- Formato para la evaluación de los costos.

| Actividad | Costos 1er. año | Costos 2do. año |
|-----------|-----------------|-----------------|
| | | |
| Total | | |

9. RESULTADOS

9.1 Pruebas de germinación

9.1.1 Porcentaje de germinación

En la figura 11, se muestran las diferentes dosis ppm de ácido giberélico que se aplicaron a las semillas y el porcentaje de germinación que se presentó en cada dosis. EL mayor porcentaje de semillas germinadas se presentó en la dosis de 100 ppm, con un 84% de germinación, se obtuvo un 9% más de semillas germinadas que el testigo. A partir de la dosis de 100 ppm conforme se fue aumentando la concentración, disminuyó el porcentaje de germinación.

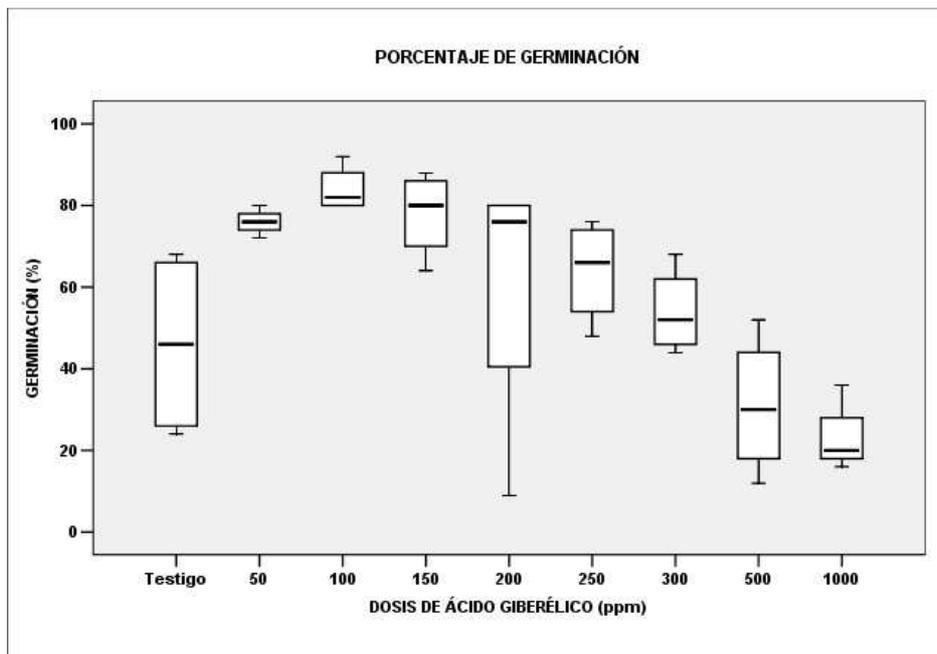


Figura 11.- Valores medios del porcentaje de germinación de las semillas.

El análisis de varianza (ANOVA). Presentó un valor de $p= 0.000$, a 95% de confianza (Cuadro 6). Lo anterior indica que existen diferencias estadísticas entre las concentraciones de ácido giberélico.

Cuadro 6.- Resultados del análisis de varianza (ANOVA) en el porcentaje de germinación de las semillas de *Jatropha Curcas* L., tratadas con diferentes dosis de ácido giberélico.

| ANOVA | | | | | |
|----------------------|-------------------|-----|----------------|------|-------|
| GERMINACIÓN (%) | Suma de cuadrados | g.l | Cuadrado medio | F | p |
| Entre los grupos | 14205.55 | 8 | 1775.69 | 6.34 | 0.000 |
| Dentro de los grupos | 7552.75 | 27 | 279.73 | | |
| Total | 21758.30 | 35 | | | |

Se realizó una prueba de Tukey donde se compararon los valores medios de las dosis de ácido giberélico, donde se puede observar que no existen diferencias significativas con el testigo, sin embargo si existen diferencias significativas entre las distintas dosis de ácido giberélico. Las dosis de 50, 100 y 150 ppm presentan diferencias significativas con las dosis de 500 y 1000 ppm. Mientras que la dosis de 250 ppm presenta diferencias con la dosis de 1000 ppm (Cuadro 7).

Cuadro 7.- Prueba de Tukey, comparación de los valores medios de las distintas dosis de ácido giberélico y el testigo.

| | Testigo | 50 ppm | 100 ppm | 150 ppm | 200 ppm | 250 ppm | 300 ppm | 500 ppm | 1000 ppm |
|----------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Testigo | | 0.259 | 0.07 | 0.193 | 0.948 | 0.836 | 0.999 | 0.932 | 0.591 |
| 50 ppm | 0.259 | | 0.999 | 1.000 | 0.913 | 0.981 | 0.644 | 0.018 | 0.003 |
| 100 ppm | 0.07 | 0.999 | | 1.000 | 0.551 | 0.746 | 0.259 | 0.003 | 0.001 |
| 150 ppm | 0.193 | 1.000 | 1.000 | | 0.846 | 0.953 | 0.538 | 0.012 | 0.002 |
| 200 ppm | 0.948 | 0.913 | 0.551 | 0.846 | | 1.000 | 1.000 | 0.288 | 0.08 |
| 250 ppm | 0.836 | 0.981 | 0.746 | 0.953 | 1.000 | | 0.994 | 0.165 | 0.04 |
| 300 ppm | 0.999 | 0.644 | 0.259 | 0.538 | 1.000 | 0.994 | | 0.591 | 0.224 |
| 500 ppm | 0.932 | 0.018 | 0.003 | 0.012 | 0.288 | 0.165 | 0.591 | | 0.999 |
| 1000 ppm | 0.591 | 0.003 | 0.001 | 0.002 | 0.08 | 0.04 | 0.224 | 0.999 | |

9.1.2 Velocidad de germinación

En la figura 12, se puede observar los valores medios de la velocidad de germinación de las semillas en las diferentes dosis de ácido giberélico. En la dosis de 100 ppm las semillas germinaron en 7 días. En el testigo germinaron a los 12 días. Las dosis de 50 y 200 ppm fueron las que tuvieron una velocidad de germinación mayor al testigo.

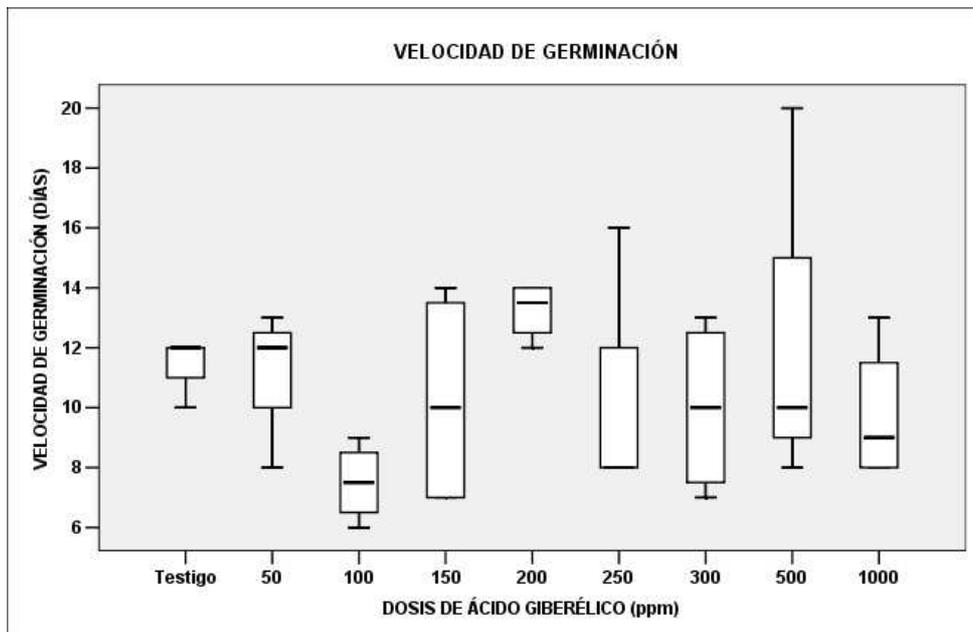


Figura 12.- Valores medios de la velocidad de germinación de las semillas de *Jatropha Curcas* L., en las dosis de ácido giberélico y testigo.

El análisis de varianza (ANOVA). Presento un valor de $p= 0.353$, a 95% de confianza (Cuadro 8). Lo anterior indica que no existen diferencias estadísticas en la velocidad de germinación de las semillas.

Cuadro 8.- Análisis de varianza (ANOVA) de la velocidad de germinación de las semillas de *Jatropha curcas* L., tratadas con diferentes dosis de ácido giberélico.

| ANOVA | | | | | |
|---------------------------------|-------------------|-----|----------------|-----|-------|
| VELOCIDAD DE GERMINACIÓN (DIAS) | Suma de cuadrados | g.l | Cuadrado medio | F | p |
| Entre los grupos | 85.55 | 8 | 10.69 | 1.1 | 0.353 |
| Dentro de los grupos | 247 | 27 | 9.14 | 69 | |
| Total | 332.55 | 35 | | | |

9.2 Producción de planta

Se colocó la semilla en las bolsas de 500 ml, en el mes de marzo en el vivero de la Facultad de Ciencias Forestales de la U.A.N.L., la cual germinó a los 7 días. Se produjeron 4000 plantas, las cuales duraron 2 meses en el vivero, para después ser trasladadas a campo.

9.3 Plantaciones experimentales

9.3.1 Plantación radial

En la plantación experimental radial se obtuvieron los siguientes resultados. En cuanto a la altura, el tratamiento dos con espaciamiento de 1.5*1.75 m tuvo el mayor crecimiento presentando una media de 145 cm con una densidad de 3810 plantas ha⁻¹, seguido del tratamiento tres con espaciamiento de 2*2.25 m el cual presentó una media de 136 cm teniendo una densidad de 2222 plantas ha⁻¹. El tratamiento cinco con espaciamiento de 3*3 m presentó el menor crecimiento con 126 cm teniendo una densidad de 1111 palantas ha⁻¹ (Figura 13).

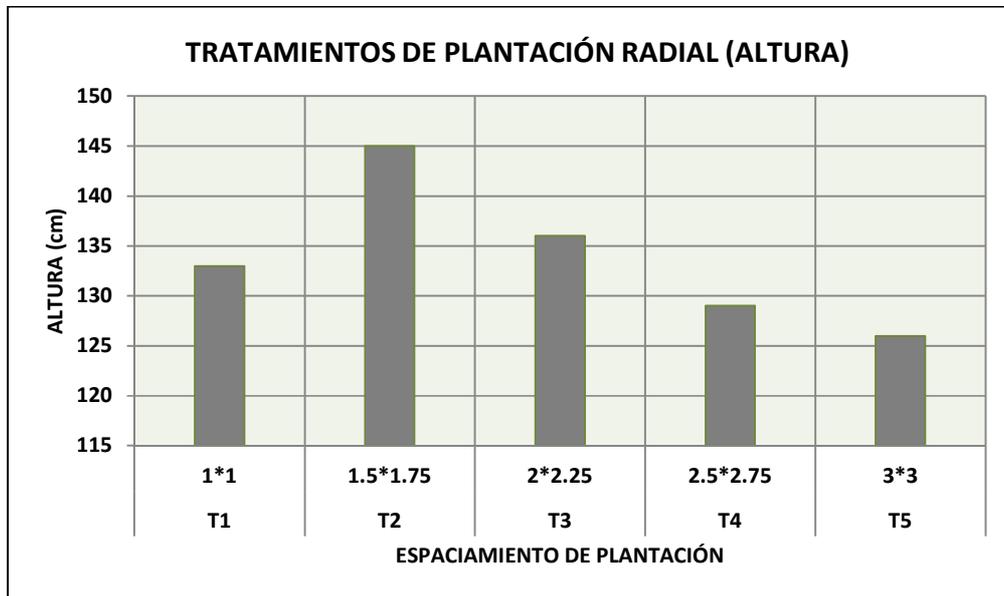


Figura 13.- Altura media de los espaciamientos de plantación radial.

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA). Demuestran que existen diferencia significativas ($p= 0.000$) en el crecimiento de las plantas entre los diferentes espaciamientos de plantación, a 95% de confianza (Cuadro 9).

Cuadro 9.- Análisis de varianza (ANOVA) en altura de los diferentes espaciamientos de plantación.

| ANOVA | | | | | |
|----------------------|-------------------|-----|----------------|----------|----------|
| ALTURA | Suma de cuadrados | g.l | Cuadrado medio | <i>F</i> | <i>p</i> |
| Entre los grupos | 95127.47 | 4 | 23781.87 | 7.88 | 0.000 |
| Dentro de los grupos | 1613747.57 | 535 | 3016.35 | | |
| Total | 1708875.05 | 539 | | | |

Se realizó una prueba de Tukey para observar las diferencias significativas en la altura de los distintos espaciamientos de plantación, donde se puede observar que el espaciamiento de 1.5*1.75 m es significativamente diferente a los demás (Cuadro 10).

Cuadro 10.- Prueba de Tukey, de la altura de los diferentes espaciamientos de plantación radial.

| | 1*1 | 1.5*1.75 | 2*2.25 | 2.5*2.75 | 3*3 |
|----------|-------|----------|--------|----------|-------|
| 1*1 | | 0.000 | 0.999 | 1.000 | 1.000 |
| 1.5*1.75 | 0.000 | | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 2*2.25 | 0.999 | 0.000 | | 0.998 | 1.000 |
| 2.5*2.75 | 1.000 | 0.000 | 1.000 | | 1.000 |
| 3*3 | 1.000 | 0.000 | 1.000 | 1.000 | |

En cuanto al diámetro, el tratamiento dos con espaciamiento de 1.5*1.75 m, tuvo el mayor crecimiento presentando una media de 4.85 cm, seguido del tratamiento tres con espaciamiento de 2*2.25 m, presentando una media de 4.78 cm. El tratamiento uno con espaciamiento de 1*1 m, presento el menor crecimiento con 4.50 cm (Figura 14).

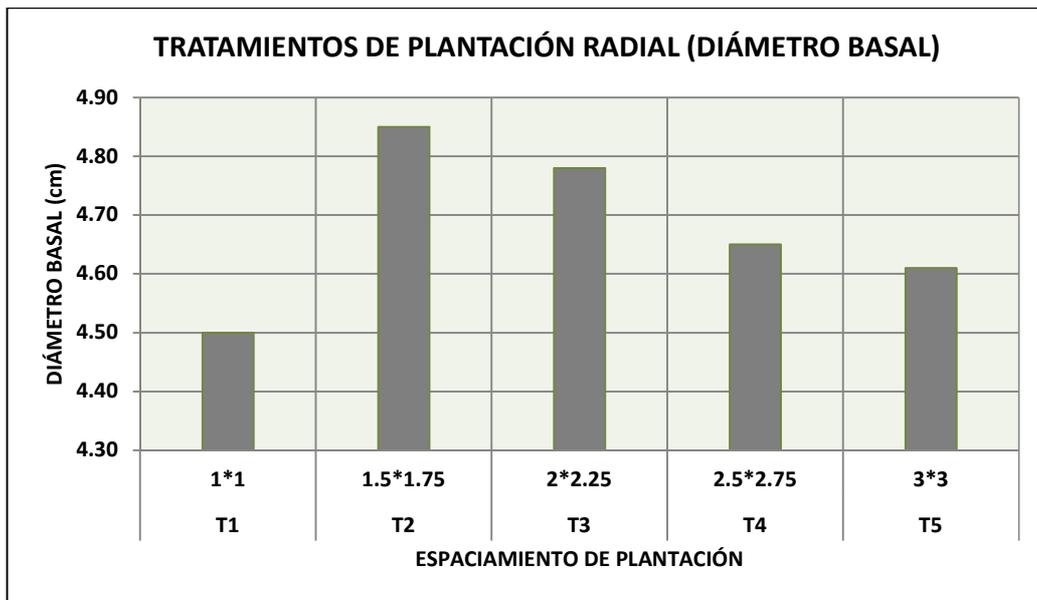


Figura 14.- Diámetro basal medio de los espaciamientos de plantación radial.

El análisis de varianza (ANOVA). Presentó un valor de $p= 0.776$, a 95% de confianza (Cuadro 11). Lo anterior indica que no existen diferencias estadísticas en el diámetro basal de los espaciamientos de plantación radial.

Cuadro 11.- Análisis de varianza (ANOVA) del diámetro basal de los distintos espaciamientos de plantación radial.

| ANOVA | | | | | |
|----------------------|-------------------|-----|----------------|------|-------|
| DIÁMETRO BASAL | Suma de cuadrados | g.l | Cuadrado medio | F | p |
| Entre los grupos | 7.686 | 4 | 1.921 | 0.45 | 0.776 |
| Dentro de los grupos | 2309.724 | 535 | 4.317 | | |
| Total | 2317.410 | 539 | | | |

9.3.2 Plantación productiva

Los resultados para este arreglo de plantación demuestran que el tratamiento seis con espaciamiento de 1*1*4 m hilera sencilla, fue el que presentó mayor altura con una media de 145 cm. Mientras que el tratamiento siete con espaciamiento de 1*1.75*4 m doble hilera, presento una media de 135 cm, 10 cm menos que el tratamiento seis (Figura 15).

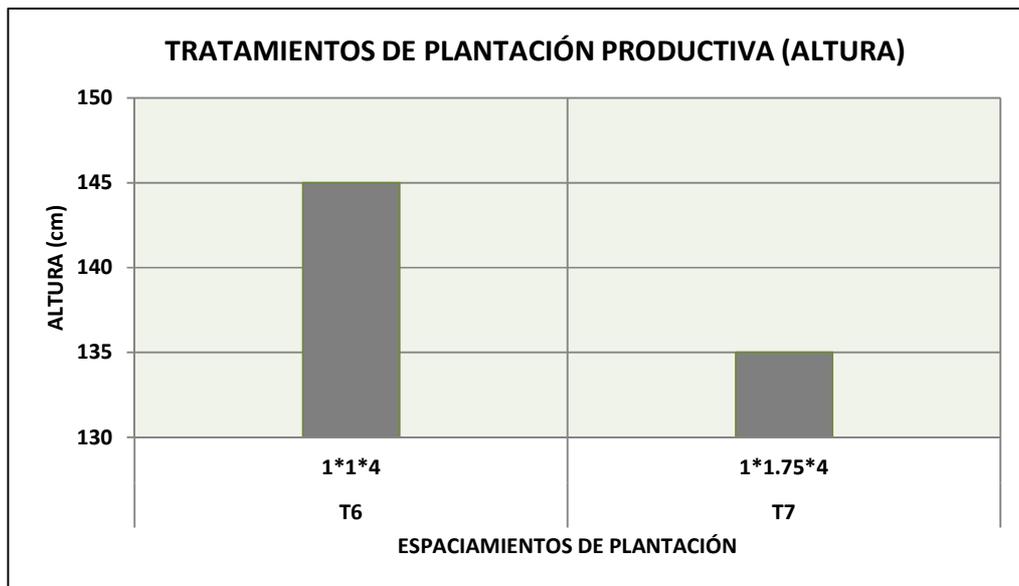


Figura 15.- Altura media de los espaciamientos de plantación productiva.

El análisis de varianza (ANOVA), demuestra que no hubo diferencia estadística significativa en la altura en los diferentes espaciamientos de plantación productiva. Presentó un valor de $p= 0.472$, a 95% de confianza (Cuadro 12).

Cuadro 12.- Análisis de varianza ANOVA, de la altura de los distintos espaciamientos de plantación productiva.

| ANOVA | | | | | |
|----------------------|-------------------|-----|----------------|------|-------|
| Altura | Suma de cuadrados | g.l | Cuadrado medio | F | p |
| Entre los grupos | 629.378 | 1 | 629.378 | 0.52 | 0.472 |
| Dentro de los grupos | 106196.578 | 88 | 1206.779 | | |
| Total | 106825.956 | 89 | | | |

En cuanto al diámetro basal, se obtuvo que el tratamiento seis con espaciamiento de 1*1*4 m hilera sencilla, tuvo el mayor crecimiento presentando una media de 5.09 cm. El tratamiento siete con espaciamiento de 1*1.75*4 m doble hilera, presento una media de 4.72 cm, este tratamiento estuvo por debajo del tratamiento seis con una diferencia de 4 mm (Figura 16).

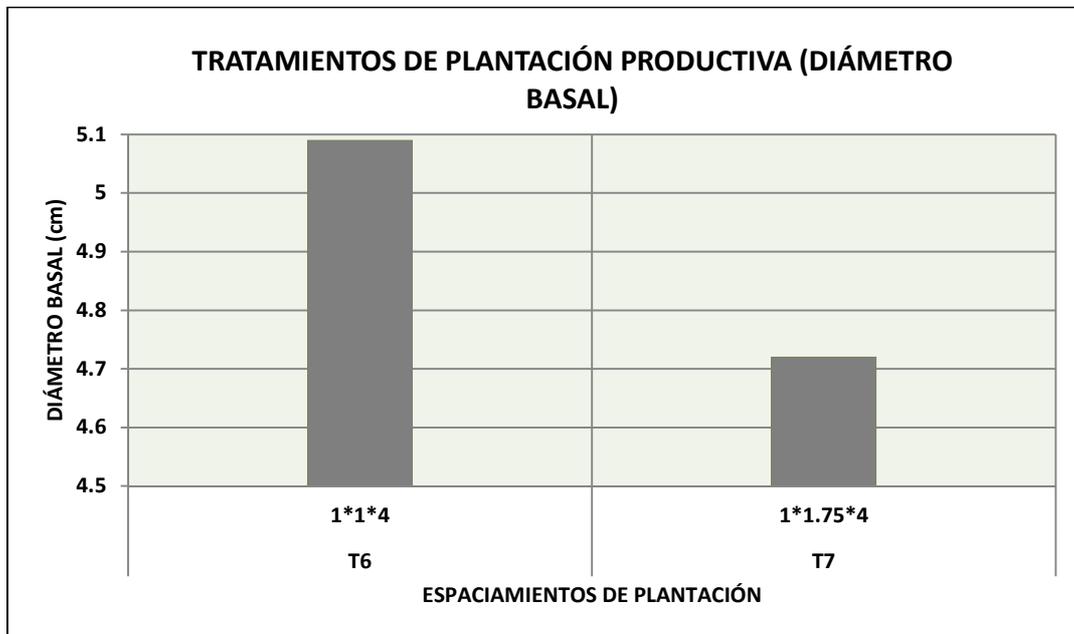


Figura 16.- Diámetro basal medio de los espaciamientos de plantación productiva.

El análisis de varianza (ANOVA). Presentó un valor de $p= 0.770$, a 95% de confianza (Cuadro 13). Lo anterior indica que no existen diferencias estadísticas en el diámetro basal de los espaciamientos productivos.

Cuadro 13.- Análisis de varianza (ANOVA) del diámetro basal de los distintos espaciamientos de plantación productiva.

| ANOVA | | | | | |
|----------------------|-------------------|-----|----------------|------|-------|
| DIÁMETRO BASAL | Suma de cuadrados | g.l | Cuadrado medio | F | p |
| Entre los grupos | 0.059 | 1 | 0.059 | 0.09 | 0.770 |
| Dentro de los grupos | 60.066 | 88 | 0.683 | | |
| Total | 60.125 | 89 | | | |

9.4 Desarrollo de floración y frutos

La floración se presentó 5 meses después de la plantación (Figura 17) en el mes de septiembre la cual no fue uniforme, en este mes se presentó la mayor precipitación en el año 407.1 mm (Figura 18). A mediados de noviembre principios de diciembre, se presentó la primera fructificación (Figura 17), el desarrollo de los frutos no fue uniforme, el crecimiento de los frutos tardíos comenzó hasta después de los frutos tempranos, algunas plantas no alcanzaron a fructificar, ya que se empezaron a presentar temperaturas bajas, el desarrollo del fruto se detuvo y algunos no alcanzaron a madurar.



Figura 17.- Floración y frutos de *Jatropha Curcas* L.

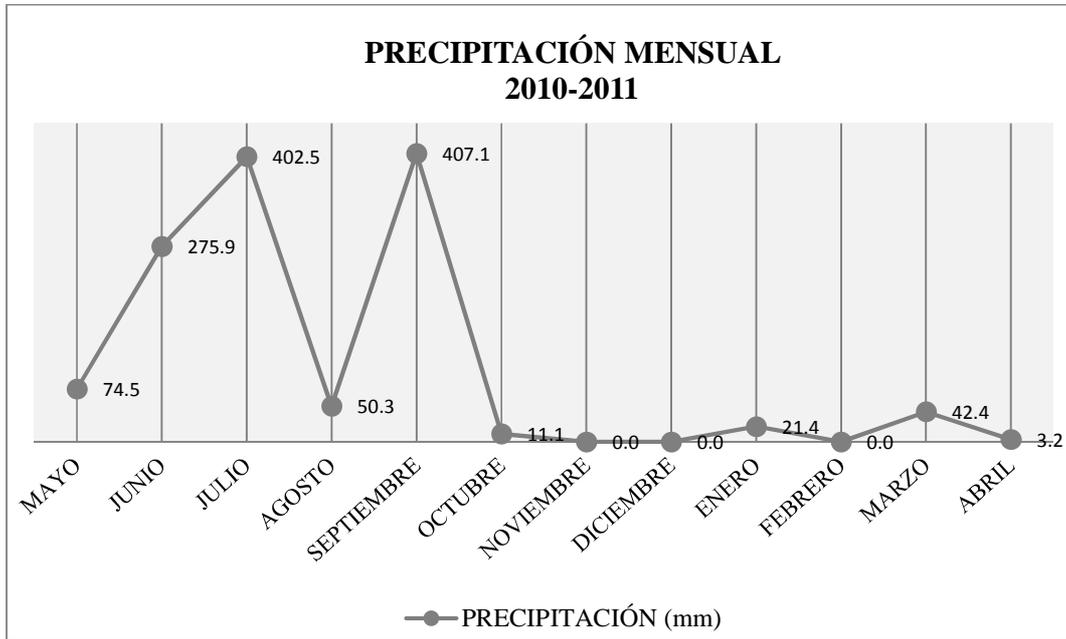


Figura 18.- Precipitaciones mensuales en el área de plantación.

9.5 Producción

La producción de frutos de *Jatropha Curcas* L., plantada en un área de la Región Citrícola del estado de Nuevo León, para los primeros dos años que duro la presente investigación no se pudo determinar. En el primer año (2010) la mayoría de las plantas no fructificaron, debido a las bajas temperaturas (-3.5°C) que se presentaron en la región, las cuales dañaron la planta y por lo tanto no hubo producción de frutos. Para el segundo año (2011) ocurrió la misma situación, en este año la planta presentaba floración en el momento en que bajo la temperatura hasta (2°C).

9.6 Tratamientos contra las bajas temperaturas

Se presentaron temperaturas extremas que llegaron a -3.5°C ., en el invierno 2010 (Figura 21). Todas las plantas de los diferentes tratamientos sufrieron quemaduras en tallo y hojas (Figura 19). Sin embargo, se observó que en el tratamiento de tierra (parte basal cubierta de tierra) no presentó ningún daño (Figura 20).



Figura 19.- Plantas dañadas por las bajas temperaturas.



Figura 20.- Tratamiento de tierra contra las bajas temperaturas.

Los tratamientos de cartón, costales y pacas tuvieron una altura en rebrote similar a la del testigo (Figura 22). Se contó el número de rebrotes de cada uno de los tratamientos, donde se observó que el tratamiento que presentó más rebrotes fue el de tierra (Figura 23).

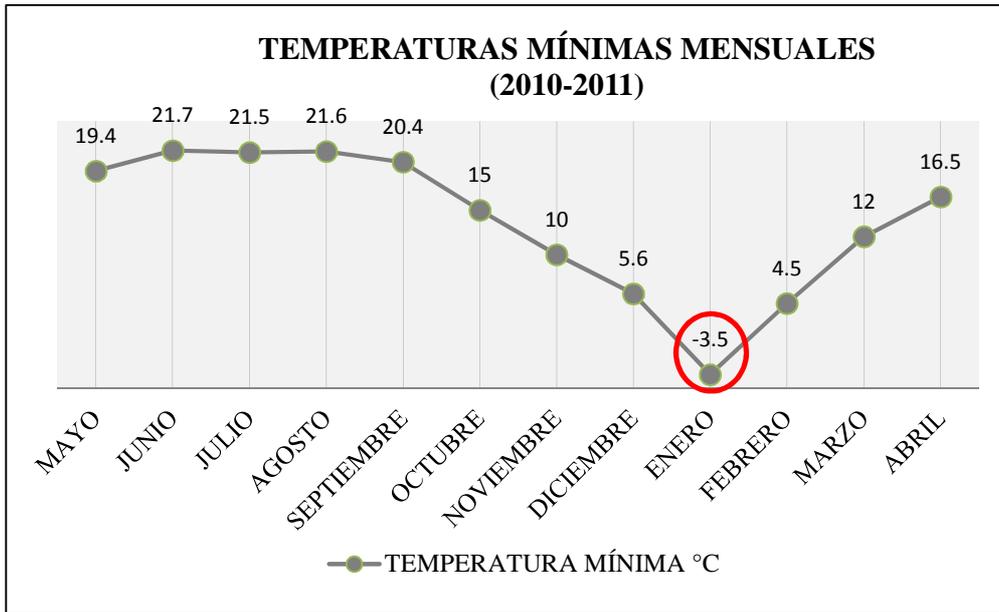


Figura 21.- Temperaturas mínimas que se registraron en la plantación.

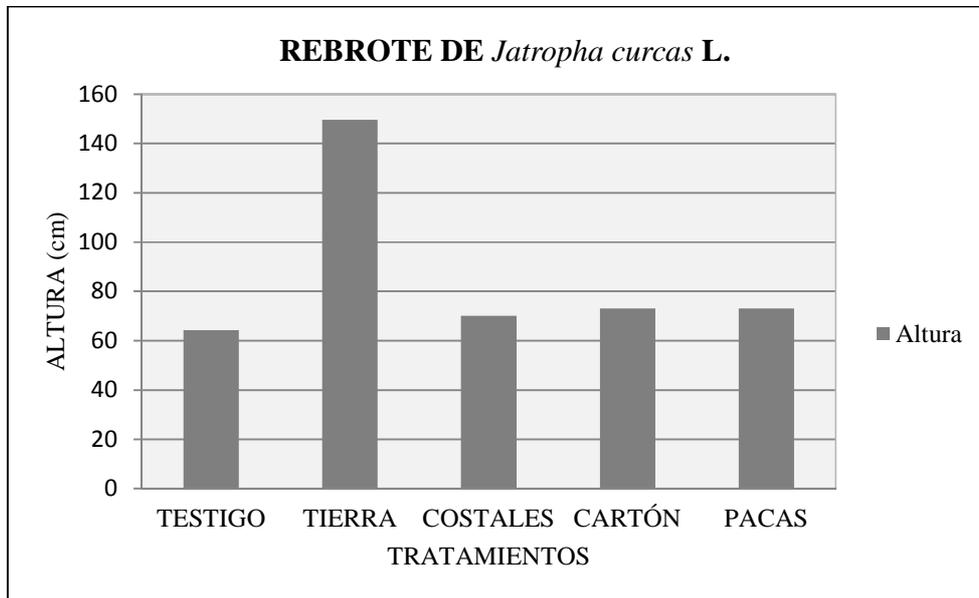


Figura 22.- Valores medios en altura del rebrote de los tratamientos contra las bajas temperaturas.

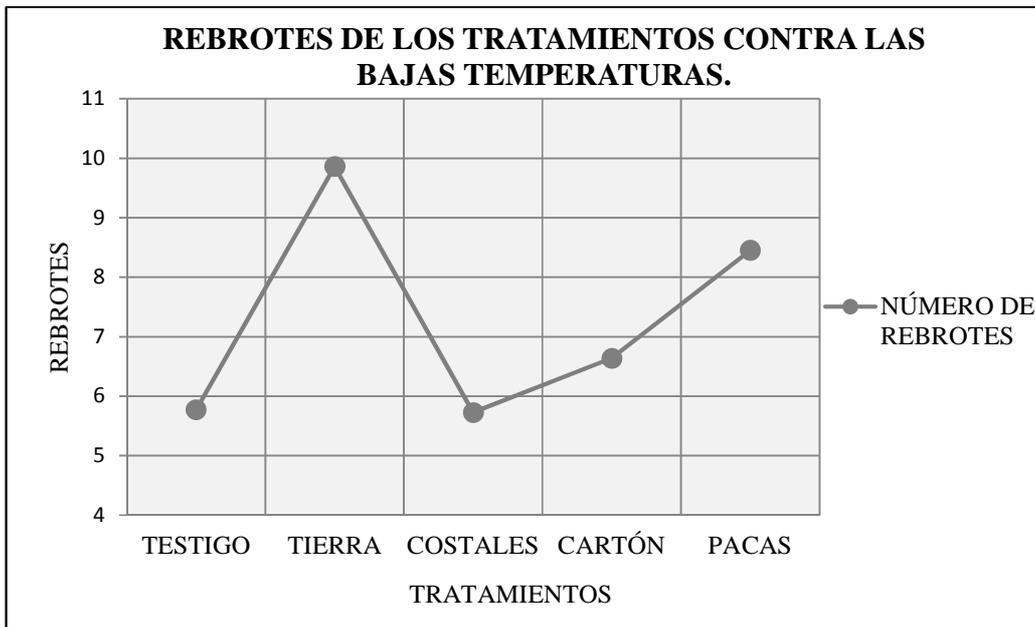


Figura 23.- Número de rebrotos en los tratamientos que se aplicaron a la *Jatropha Curcas* L., contra las bajas temperaturas.

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) en altura del rebrote para los tratamientos contra las bajas temperaturas, presentó un valor de $p= 0.000$, a 95% de confianza (Cuadro 14). Lo anterior indica que existen diferencias estadísticas en altura del rebrote para los tratamientos contra las bajas temperaturas.

Cuadro 14.- Análisis de varianza (ANOVA) en la altura del rebrote de los distintos tratamientos contra las bajas temperaturas.

| ANOVA | | | | | |
|----------------------|-------------------|-----|----------------|----------|----------|
| ALTURA | Suma de cuadrados | g.l | Cuadrado medio | <i>F</i> | <i>p</i> |
| Entre los grupos | 237810.60 | 4 | 59452.65 | 150 | 0.000 |
| Dentro de los grupos | 93774.28 | 236 | 397.34 | | |
| Total | 331584.88 | 240 | | | |

En la prueba de Tukey, se comparó al testigo con los tratamientos contra las bajas temperaturas, donde se puede observar que el tratamiento de tierra es significativamente diferente al testigo en cuanto a la altura del rebrote (Cuadro 15).

Cuadro 15.- Prueba de Tukey, comparación de la altura del rebrote del testigo con los tratamientos que se aplicaron contra las bajas temperaturas.

| | Tierra | Costales | Cartón | Pacas |
|---------|--------|----------|--------|-------|
| Testigo | 0.000 | 0.331 | 0.063 | 0.061 |

9.7 Costos de la plantación

Los costos en el establecimiento de la plantación son altos en el primer año (\$116,550.00 pesos). Lo más costoso es el sistema de riego (\$60,000.00 pesos) y el vivero (\$25,000.00 pesos). En el segundo año la inversión es mucho menor (\$12,400.00 pesos), se tienen los gastos en la electricidad de la bomba de agua, reposición de cintilla, tratamiento de tierra contra las bajas temperaturas (bordeador), limpieza o deshierbe y poda. Estos costos están evaluados para 4 ha⁻¹ (Cuadro 16). Lo cual nos indica que por hectárea se tendría una inversión en el primer año (\$29,137.50 pesos) y en el segundo (\$3,100.00 pesos). Las plantas no presentaron plagas que pudieron causar daños severos, por lo cual no se les aplicó ningún tipo de químico. El manejo de las hierbas o malezas, se hizo de forma mecánica. Tampoco se aplicó ningún tipo de fertilizante. Por lo tanto no se tuvieron gastos en estas actividades.

Cuadro 16.- Costos de producción de planta y establecimiento de *Jatropha curcas* L., en un área de la Región Citrícola del estado de Nuevo León, México.

| Actividades | Costos 1er. año | Costos 2do. año | Actividades | Costos 1er. año | Costos 2do. año |
|--|-----------------|-----------------|--|------------------|-----------------|
| Limpia del terreno/Labores agrícolas | | | Trasplante | \$10,200 | |
| Arado | \$900 | | Total | \$10,200 | |
| Rastra | \$1,200 | | Tratamientos contra las bajas temperaturas | | |
| Bordeador | \$400 | | Costales | \$200 | |
| Total | \$2,500 | | Pacas | \$900 | |
| Compra semilla 7.500 kg. | \$2,250 | | Tierra | \$600 | |
| Total | \$2,250 | | Cartón | \$400 | |
| Vivero (4000 plantas) | \$25,000 | | Total | \$2,100 | \$1,200 |
| Total | \$25,000 | | Limpieza/deshierbe | \$3,000 | |
| Sistema de riego | \$60,000 | | Total | \$3,000 | \$3,000 |
| Gasto electricidad bomba de agua año ⁻¹ | \$3,500 | | Total | \$116,550 | \$10,700 |
| Total | \$63,500 | \$3,500 | | | |
| Cintilla | \$6,000 | | | | |
| Total | \$6,000 | \$3,000 | | | |
| Traslado 4000 plantas a campo | \$2,000 | | | | |
| Total | \$2,000 | | | | |

10. DISCUSIÓN

De acuerdo a López (2010), las semillas frescas de *Jatropha Curcas* L., tienen un 80% de germinación sin ningún tratamiento, sin embargo en este trabajo se obtuvo un porcentaje de germinación de 75% en semillas frescas (testigo) y un porcentaje de 84% cuando se realizan tratamientos pregerminativos con ácido giberélico. No se encontraron diferencias significativas en los tratamientos para la germinación de las semillas. Por lo que si se quiere incrementar el porcentaje de germinación se debe de tratar con diferentes tratamientos. Se detecto una uniformidad en el crecimiento de las plantas con la aplicación de 100 ppm de ácido giberélico.

Según Muñoz (2009), la germinación toma 10 días, tiempo similar se encontró en el presente trabajo de investigación para el testigo. El tiempo de germinación se puede reducir a 7 días, cuando se aplican dosis de 100 ppm de ácido giberélico.

De acuerdo a Muñoz (2009), los espaciamientos de siembra que más se utilizan son 2x2 m, 2.5x2.5 m y 3x3 m. En el presente trabajo se encontró que el espaciamiento que presentó mejores resultados fue el de 1.5*1.75 m, por lo que se coincide con López (2010), que menciona que el crecimiento está determinado por factores ambientales en las que se encuentre el cultivo (precipitación, temperatura, etc.).

La floración se presentó en el mes de septiembre la cual no fue uniforme, en este mes se presentó la mayor precipitación con 407.1 mm lo cual coincide con De la Vega (2004), el cual menciona que la floración está relacionada con el periodo de lluvias.

Los frutos se presentaron 2 meses después de la floración, su desarrollo no fue uniforme, coincidiendo con Octágono S.A. (2006), menciona que se presenta 2 meses después de la floración y que en las plantas siempre se va a encontrar frutos verdes y frutos maduros.

Las bajas temperaturas presentes en la zona dañaron todas las plantas de los diferentes tratamientos, las quemaduras se presentaron en tallo y hojas. El tratamiento de tierra (parte basal cubierta de tierra) protegió a las plantas al no permitir ningún daño en las mismas. Resultados similares reportados por la FAO (2010), menciona que existen diferentes métodos para proteger las plantas contra las bajas temperaturas (pasivos y activos). Indica que el método de tierra es un método pasivo y el cual funciona como aislante contra el aire frío, almacenando el calor en la planta.

La producción de frutos de *Jatropha Curcas* L., no pudo ser estimada en los dos años que duro la presente investigación. Las bajas temperaturas de -3.5°C que se presentaron en el invierno 2010 y la temperatura de 2°C del año 2011 que duró 7 horas. Daño toda la producción. Los resultados presentes en esta investigación coinciden con Héller (1996), quien menciona que esta planta soporta temperaturas de baja intensidad o de corto tiempo hasta 6°C .

En el presente trabajo los costos en el establecimiento de la plantación para el primer año fueron de \$29,137.50 pesos ha^{-1} y para el segundo de \$2,675.00 pesos ha^{-1} . En un trabajo similar SEMARNAT *et al.*, (2008), reporta costos para el estado de Michoacán de \$11,100.00 pesos ha^{-1} y se coincide que la inversión mas elevada es en el establecimiento.

11. CONCLUSIONES

Con base a los resultados obtenidos en la presente investigación. Se puede concluir que técnicamente es factible el establecimiento del cultivo de *Jatropha curcas* L., bajo las condiciones ambientales de la región Citrícola. La producción de semillas con beneficios económicos en los dos años de investigación no se logro determinar, debido a las temperaturas bajas (-3.5°C) que se presentaron en la región, lo anterior repercutió en la producción de frutos. Fisiológicamente las plantas de *Jatropha Curcas* L., presentan los primeros frutos en el mes de diciembre cuando las temperaturas en la región Citrícola empiezan a bajar. La recuperación de la inversión del primer y segundo año no se alcanzó. Sin embargo, de acuerdo a la SAGARPA (2011), esta especie tiene un periodo productivo de más de 40 años, alcanzando su máxima productividad a los 5 años. Por lo anterior se sugiere estudiar esta especie en el aspecto productivo, contemplando labores de protección contra las bajas temperaturas en un periodo mayor a dos años.

12. LITERATURA CITADA

- Aguhob, P. 2006. Research Information Series on Ecosystems. Tubang-bakod (*Jatropha curcas* L.) Vol. 18. No. 1. 7 pg.
- Alfonso, J. 2008. Manual para el cultivo del piñón (*Jatropha curcas*) en Honduras. La Lima, Honduras. Proyecto Gota Verde. 34 pg.
- ASERCA. 2007. Biodiesel: combustible del futuro. Claridades Agropecuarias No. 163. Publicación mensual, Marzo. México. 3-12 pg.
- August, A. 2008. Occurrence of vivipary in *Jatropha curcas* L. Current Science, Vol. 95, No. 3. 10 pg.
- Azurdia, C; Asturias, R; Barillas, E; Montes, L. 2008. Caracterización molecular de las variedades de *Jatropha curcas* L. en Guatemala, con fines de mejoramiento. Informe Final. Guatemala, Octagón, S.A. Proyecto AGROCYT 012-2005. 46 pg.
- Baumgart, S. 2007. *Jatropha* cultivation in Belize. Expert seminar on *Jatropha curcas* L. Agronomy and genetics. Wageningen, the Netherlands, FACT Foundation. 39 pg.
- Bittner, M; Alarcón, J; Aqueveque, P. 2001. Estudio Químico de Especies de la Familia Euphorbiaceae en Chile. Bol. Soc. Chile. Santiago. 12 pg.

Carlos, A. (Sin fecha). Cultivos energéticos. Ficha técnica de la *Jatropha curcas*. 4 pg.

Congreso Nacional y Reunión Mesoamericana de Manejo de Microcuencas Hidrográficas.

(Sin fecha). La *Jatropha* una alternativa para la elaboración de biocombustibles sustitutos del petróleo. 11 pg.

Cruz, V; Contreras, T; Anaya, S. (Sin fecha). Aceite de la *Jatropha curcas* L., análisis de su composición. Graduados en Alimentos. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. 52 pg.

De la Vega Lozano, J. 2004. *Jatropha Curcas* L. Agro-Energía. Consultor Independiente, México Agro-Proyectos y Agro-Energía. 21 pg.

FAO. 2010. *Jatropha: A Smallholder Bioenergy Crop. The Potential for Pro-Poor Development*. Volumen 8. 43 pg.

FAO. 2010. Protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía. Volumen 1. 240 pg.

Foidl, M; Sanchez, M; Mittelbach; Hackel, S. 1996. *Jatropha curcas* L., as a source for the production of biofuel in Nicaragua. Bioresource Technology USA. 58: 77-82 pg.

- Francis, G; Edinger, R; Becker, K. 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. 12–24 pg.
- Garcés, P. 2000. Estudio de las características botánicas y etnobotánicas de *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) 25-38 pg.
- GEXSI. 2008. Global market study on *Jatropha*. Final Report. London, Reino Unido. 187 pg.
- Héller, J. 1996. Physic nut. *Jatropha curcas* L. International Plant Genetic Resources Institute. Roma. 66 pg.
- Inversiones San Martin. 2006. Cultivo de *Jatropha curcas* L., y construcción de una planta de biodiesel en San Esteban, Olancho, Honduras. Honduras. 35 pg.
- Joker, D; Jepsen, J. 2003. *Jatropha curcas* L. Seed leaflet No. 83. Danida Forest Seed Centre. Denmark. 36 pg.
- Jongschaap, R; Corré, W; Bindraban, P; Brandenburg, W. 2007. Claims and facts on *Jatropha curcas* L.: Global *Jatropha curcas* evaluation, breeding and propagation programme. Wageningen, Holanda, Plant Research International. 66 pg.

Knothe, G; Gerpen, V; Krahl, J. 2004. The Biodiesel Handbook. AOCS Press, Urbana, Illinois, U.S.A. 43 pg.

Kumar-Tiwari, A; Kumar, A; Raheman, H. 2007. Biodiesel production from *Jatropha* oil (*Jatropha curcas*) with high free fatty acids: An optimized process. Biomass and Bioenergy. 569-575 pg.

López, J. 2010. Manual Técnico del Cultivo de Tempate (*Jatropha curcas* L.) para producción de aceite. Proyectos de biocombustibles CENTA. El Salvador. 80 pg.

Makkar, H; Becker, K. 1999. Nutritional studies on rats and fish (*Cyprinus carpio*) fed diets containing unheated and heated *Jatropha curcas* meal of a non-toxic provenance. Plant Foods for Human Nut. 183–192 pg.

Makkar, H; Aderibigbe, A; Becker, K. 1998a. Comparative evaluation of non-toxic and toxic varieties of *Jatropha curcas* for chemical composition, digestibility, protein degradability and toxic factors. Food Chem. 62, 207–215 pg.

Makkar, H; Becker, K; Sporer; Wink. 1997. Studies on nutritive potential and toxic constituents of different provenances of *Jatropha curcas*. *J. Agric. Food Chem.* 157 pg.

- Makkar, H; Becker, K; Schmook, B. 1998b. Edible provenances of *Jatropha curcas* from Quintana Roo state of Mexico and effect of roasting on antinutrient and toxic factors in seeds. *Plant Foods Human Nutr.* 31–36 pg.
- Martínez, H. 2007. El piñón mexicano: una alternativa bioenergética para México. *Revista Digital Universitaria.* 10 diciembre 2007. Vol. 8. 10 pg.
- Martínez, H; Siddhuraju, P; Francis, G; Dávila, O; Becker, K. 2006. Chemical composition, toxic/antimetabolic constituents, and effects of different treatments on their levels in four provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico, *Food Chem.* 80-89 pg.
- Mendoza, H. 2008. INIAP. Desarrollo de tecnologías para el aprovechamiento del piñón (*Jatropha curcas*) como fuente de biocombustibles en tierras marginales secas del litoral ecuatoriano. Taller de intercambio de experiencias Ecuador – Mali sobre manejo de piñón como biocombustible, Manta- Ecuador. 63 pg.
- Mittelbach; Trabi, M. (Sin fecha). Biofuels and industrial products from *Jatropha curcas* 53–57 pg.
- Montoya, C; Ceballos F; Vargas, C. 2008. Obtención de Biodiesel a partir de aceite extraído de la semilla de *Jatropha curcas* L. Escuela de Ingeniería. Departamento de Ingeniería de Procesos Universidad EAFIT. Cuaderno 71 pg.

- Muñoz, M. 2009. Caracterización Morfométrica de cuatro ecotipos de piñón (*Jatropha curcas*), asociado con teca (*Tectona grandis*). Tesis para obtener el grado de Ing. Agropecuaria. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. Guayaquil – Ecuador. 115 pg.
- Octágon, S.A. 2006. *Jatropha curcas* su expansión agrícola para la producción de aceites vegetales con fines de comercialización energética. Guatemala. 42 pg.
- Odalys, C; Toral, J; Iglesias, M; Sofía, M; Sotolongo, J; Soraya, G; Torsti, M. 2008. *Jatropha curcas* L., una especie arbórea con potencial energético en Cuba. 207 pg.
- Organización de las Naciones Unidas. 2004. Perspectivas de un programa de biocombustibles en América central. 84 pg.
- Ovando, A; Adriano, L; Salvador, M; Ruíz, S; Vázquez, A. 2009. Piñón (*Jatropha curcas* L.): Bioenergía para el desarrollo de Chiapas. Biotecnología agropecuaria y biodiversidad en Chiapas. 24 pg.
- Reena, T; Nand, K; Sharma, P. 2008 Therapeutic Biology of *Jatropha curcas*: A Mini Review. Current Pharmaceutical Biotechnology. 324 pg.
- SAGARPA. 2009. Programa de Producción Sustentable de Insumos para Bioenergéticos y de Desarrollo Científico y Tecnológico. 26 pg.

SAGARPA; SENER; SEMARNAT; SE; SHCP. 2008. Estrategia intersecretarial de los bioenergéticos. 29 pg.

Salazar, R. 2001. *Jatropha curcas* L. Manejo de semillas de 75 especies forestales de América Latina. Turrialba, Costa Rica, CATIE. (Serie Técnica. Manual Técnico No. 48). 155 pg.

Schmook, B; Serralta-Peraza, L. 1997. *J. curcas*: distribution and uses in the Yucatan Peninsula of Mexico. 43 pg.

SEMARNAT; INECOL; CIEco. 2008. Análisis integrado de las tecnologías, el ciclo de vida y la sustentabilidad de las opciones y escenarios para el aprovechamiento de la bioenergía en México. 99 pg.

SENER. 2006. Energías renovables para el desarrollo sustentable en México, 91 pg.

Thomas, R; Sah, N; Sharma, P. 2008. Therapeutic biology of *Jatropha curcas*: A mini-review. Current Pharmaceutical Biotechnology. 9 pg.

Toral, O; Iglesias, J; Montes de Oca, S; Sotolongo, J; García, S; Torsti, M. 2008. *Jatropha curcas* L., una especie arbórea con potencial energético en Cuba. 207 pg.

Torres, A. (Sin fecha). Cultivos energéticos. Ficha técnica de la *Jatropha curcas*. 4 pg.

Villalón, M; Cruz de León, J; Soto, J; Cuellar, M. 1997. Prueba de establecimiento de una plantación de *Pithecellobium ébano* (Benth) Coulter bajo 13 densidades. Facultad de ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León. II Simposio de ciencia y tecnología. CONACYT. Monterrey, Nuevo León. 29 y 30 Mayo. 43 pg.

13. PÁGINAS WEB CONSULTADAS

<http://www.bioenergeticos.gob.mx>. Sagarpa. 2011. Consultada en junio del 2011.

<http://www.researchsea.com/html/article.php/aid/721/cid/2> Saxena. Dr. Mohan, C. *Jatropha curcas* L., an excellent source of renewable energy in the dry areas. Consultada en agosto del 2011.

http://www.oleaginosas.org/art_211.shtml. Zamarripa Colmenero A. y Díaz Padilla G. Sistema Nacional Sistema Producto-Oleaginosas 2008. Áreas de potencial productivo de piñón *Jatropha Curcas* L., como especie de interés bioenergético en México. Consultada en agosto del 2011.

<http://www.geoestratos.com.mx> Consultada en febrero del 2011.

<http://www.agromapas.inifap.gob.mx/potencialproductivo/jatropha.html#> Consultada en febrero del 2011.