

Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Departamento de Agronomía

TRABAJO DE DIPLOMA

Título: Prospección agroproductiva de una especies oleaginosas no comestibles utilizada para la producción de biodiésel.

Alumno: Nelson Luján Pérez

Tutores: Dr. Miguel Salvat Quesada y MSc. Emildio Rodríguez

“Año 56 del triunfo de la Revolución”

2014

Pensamiento.

“En la tierra hace falta personas que trabajen más y critiquen menos, que construyan más y que destruyan menos, que prometan menos y que resuelvan más, que esperen recibir menos y dar más, que digan mejor ahora que mañana”

Ernesto Che Guevara.

Dedicatoria.

A mi esposa Belkis de la Caridad Martínez González por su ayuda incondicional.

A mis hijos: Nosen, Nelsito, Yialber y en especial a Dayita por darle importancia a todo lo que hago.

A toda nuestra familia que día a día siguieron los resultados del trabajo, así como a los que creyeron que era posible realizarlo.

Síntesis

En la búsqueda de alternativas para elaborar biocombustibles, el uso del aceite de “piñón botijo” (*Jatropha*) ha demostrado tener ventajas técnicas y está posicionado como una oportunidad para el desarrollo agrícola en las zonas tropicales y subtropicales; la siguiente investigación se proyecta con el propósito de mostrar a partir de la sistematización de la teoría, los avances en el desarrollo de la tecnología de producción de piñón botijo (*Jatropha*) en América Latina y las perspectivas que hoy tiene la provincia de Sancti Spíritus con sus cercas y setos vivos de esta planta, destinada a la producción de biodiesel en el marco del desarrollo rural sustentable. Se hace un intento de estudio del comportamiento agroproductivo de la especie oleaginosa no comestibles *Jatropha curcas* L. en los agroecosistemas de cercas vivas y setos de algunas regiones de la provincia de Sancti Spíritus, la exploración de este comportamiento en ecosistemas no favorables para la producción agrícola, permitió proponer la explotación alternativa de estas vallas en la producción de biodiésel en el contexto agrícola de la provincia, la valoración de estos agroecosistemas se hizo a partir de una metodología que estudia “in situ” la planta. La investigación, determina por primera vez en Cuba los potenciales de producción de aceite de la planta oleaginosa *Jatropha curcas* L. en cercas y setos vivos, además de proponer una estrategia fundamentada desde la biología del cultivo, para la producción de aceite para fabricar biodiesel a partir de estas plantaciones.

Summary

In the search of alternatives to elaborate biocombustible, the use of the oil of "Piñón botijo" (*Jatropha*) he/she has demonstrated to have technical advantages and it is positioned as an opportunity for the agricultural development in the tropical and subtropical areas; the following investigation is projected with the purpose of showing starting from the systematizing of the theory, the advances in the development of the technology of production of Piñón (*Jatropha*) in Latin America and the perspectives that today has the county of Sancti Spíritus with its fences and alive hedges of this plant, dedicated to the biodiesel production in the mark of the sustainable rural development. An intent of study of the behavior agroproductivo of the oleaginous species is not made eatable *Jatropha curcas* L. in the agroecosistemas of alive fences and hedges of some regions of the county of Sancti Spíritus, the exploration of this behavior in non favorable ecosystems for the agricultural production, facilitated to propose the alternative exploitation of these barriers in the biodiesel production in the agricultural context of the county, the valuation of these agroecosistemas was made starting from a methodology that he/she studies "in situ" the plant. The investigation, determines for the first time in Cuba the potentials of production of oil of the oleaginous plant *Jatropha curcas* L. in fences and alive hedges, besides proposing a strategy based from the biology of the cultivation, for the production of oil to manufacture biodiesel starting from these plantations.

Índice

INTRODUCCIÓN	1
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
1.1 . Generalidades.....	4
1.2 Origen y distribución del piñón botijo (j. curcas).	5
1.3 Descripción botánica	5
1.4 . Agrotecnia del cultivo	10
1.5 . Cosecha	16
1.6 . Extracción del aceite	16
1.7 . Producción de biodiesel.....	19
1.8 . Costos agrícolas de la producción de biodiésel.....	20
MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
Análisis y discusión de los resultados	24
2.1.3. Estimación de producción aceite y biodiesel de jatropha a mediano plazo. Potencial productivo en el municipio de Sancti Spíritus	29
2.2.3. Biología de la planta importante para cultivo	31
2.3.3. Estrategia fitotecnica para Cuba.....	31
CONCLUSIONES.....	33
Recomendaciones.....	34
BIBLIOGRAFÍA	35

INTRODUCCIÓN

La necesidad creciente de asegurar el abasto energético, el incremento constante en el precio del petróleo, y la preocupación internacional de los efectos del calentamiento global generados por las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), se ha impulsado la búsqueda de fuentes de energía renovables. En ese contexto surge el interés de usar insumos agropecuarios como fuentes de materia prima para la producción de biocombustibles.

En algunos países del área de América del sur, como Brasil, ya existe una amplia experiencia en la producción de etanol a partir de la caña de azúcar y en menor proporción biodiesel que se produce a partir de aceites vegetales como la soya.

Sin embargo, en Cuba no se dispone de suficiente materia prima de especies oleaginosas como soya (*Glycine max L.*), cacahuete (*Arachis hypogaea L.*), girasol (*Helianthus annuus L.*), entre otras plantas comestibles para la alimentación humana y se importa más del 90 por ciento de grano para atender la demanda nacional, por lo que resulta muy difícil considerar el uso de cultivos actualmente establecidos para la producción de biocombustibles; además la política actual del gobierno y la visión del comandante Fidel Castro sobre el tema, es no usar cultivos alimenticios para obtener biocombustibles.

En este contexto, se considera pertinente y necesario explorar nuevas fuentes generadoras de energía renovable a partir de otras especies vegetales. Actualmente para el país, el piñón botijo (*Jatropha curcas L.*) es una de las especies agrícolas que reúnen las mayores ventajas agronómicas y tecnológicas, tales como adaptación a zonas tropicales, de bajos requerimientos de agua, alto potencial de rendimiento y disposición de riqueza genética para selección de variedades (Zamarripa, *et al.*, 2009).

En la búsqueda de biocombustibles, el uso del aceite de piñón botijo ha demostrado tener ventajas técnicas y está posicionado como una oportunidad para el desarrollo agrícola en las zonas tropicales y subtropicales (Zamarripa, 2011).

A pesar que el piñón botijo es considerado una planta rústica, necesita de la aplicación de componentes tecnológicos para su cultivo tales como variedades mejoradas, fertilización, prácticas de poda, control de plagas y enfermedades, cosecha y poscosecha, que ayudarán a obtener productividad en el cultivo.

Este se proyecta con el propósito de mostrar a partir de la sistematización de la teoría los avances en el desarrollo de tecnología de producción de piñón botijo en América Latina dentro del programa nacional de investigación e innovación en bioenergía e investigar sobre las perspectivas que hoy tiene la provincia de Sancti Spíritus con sus cercas y setos vivos de piñón en la producción de biodiesel en el marco del desarrollo rural sustentable.

La estación de Pastos y Forrajes de la provincia de Sancti Spíritus, ha comenzado a hacer estudios en una de estas plantas (*Jatropha*), sin embargo son insuficientes los aspectos agronómicos y productivo de las especies existentes en la provincias y aspectos importantes de su agronomía, fundamentalmente en cuanto a los factores físicos, químicos, biológicos, económicos y sociales que pueden influir o afectar al proceso producción de estos vegetales.

A partir de estos antecedentes se propone como problema científico:

¿Cómo es el comportamiento agroproductivo de la especie oleaginosa no comestibles *Jatropha curcas* en los agroecosistema de cercas vivas y setos de la provincia de Sancti Spíritus donde están plantadas?

Hipótesis.

La exploración del comportamiento agroproductivo en ecosistemas no favorables para la producción agrícola como las cercas y setos vivos de la especie oleaginosa: *Jatropha curcas L. para la producción* de aceite no comestibles, posibilitará la explotación alternativa de estas en la producción de biodiésel en el contexto agrícola de Sancti Spíritus.

Objetivo general: Valorar el comportamiento agroproductivo de la especies oleaginosa no comestible *Jatropha curcas L.* en agroecosistemas no favorable de de cercas y setos vivos para la producción de aceite para obtención de biodiésel.

Objetivos específicos.

1. Caracterizar agronómica y productivamente la especie objeto de estudio.
2. Determinar el potencial de producción de aceite de la planta oleaginosa *Jatropha curcas L.* en agroecosistemas no favorables como son las cercas y los setos vivos para la producción agrícola de la región de Sancti Spíritus.

3. Proponer una estrategia fundamentada desde la biología del cultivo, sus requerimientos edáficos, climáticos, sanitarios y fitotécnicos para optimizar la producción de aceite para fabricar biodiesel en ecosistemas de cercas y setos vivos.

Importancia del trabajo.

La investigación que se ha concretado en este informe de tesis de diploma, determina por primera vez en Cuba los potenciales de producción de aceite de la planta oleaginosa *Jatropha curcas L.* en agroecosistemas no favorables para la producción agrícola de la planta, como son las cercas y los setos vivos la región de Sancti Spíritus. Los intentos que ya se vienen haciendo por el estudio de esta oleaginosa no comestibles son alentadores, ya que tiene grandes posibilidades no solo para la producción de biodiesel a partir de plantas no comestibles, sino como productora de alimento para animales a partir de estudios preliminares de los desechos de la producción del biocombustible.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Generalidades

El biodiésel es un biocombustible líquido que se obtiene a partir de lípidos naturales como aceites vegetales o grasas animales, con o sin uso previo, (Giraldo Sandra Y. et al., 2002) mediante procesos industriales de esterificación y transesterificación, y que se aplica en la preparación de sustitutos totales o parciales del diésel o gasóleo obtenido del petróleo.

El aceite vegetal, cuyas propiedades para la impulsión de motores se conocen desde la invención del motor diésel por Rudolf Diésel, ya se destinaba a la combustión en motores de ciclo diésel convencionales o adaptados.

A principios del siglo XXI, en el contexto de búsqueda de nuevas fuentes de energía, se impulsó su desarrollo para su utilización en automóviles como combustible alternativo a los derivados del petróleo.

El impacto ambiental y las consecuencias sociales de su previsible producción y comercialización masiva, especialmente en los países en vías de desarrollo o del Tercer y Cuarto mundo generan un aumento de la deforestación de bosques nativos, la expansión indiscriminada de la frontera agrícola, el desplazamiento de cultivos alimentarios y para la ganadería, la destrucción del ecosistema y la biodiversidad, y el desplazamiento de los trabajadores rurales. Es por eso que se ha propuesto en los últimos tiempos denominarlo agrodiésel ya que el prefijo «bio-» a menudo es asociado erróneamente con algo ecológico y respetuoso con el medio ambiente. Sin embargo, algunas marcas de productos del petróleo ya denominan agro-diésel al gasóleo agrícola o gasóleo B, empleado en maquinaria agrícola.

En nuestros ecosistemas existen plantas que pueden ser cultivadas en ecosistemas desfavorables para la agricultura, la *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) y *higuereta* (*Ricinus communis* L.) son dos ejemplos representativos de nuestra flora y que a su vez pueden ser empleadas para la producción de aceite vegetal, sin afectar o destinar la producción de plantas oleaginosas comestibles. La primera se encuentra formando partes de cercas y setos vivos

Los seto vivos son asociaciones de arbustos o árboles generalmente establecidos y mantenidos para formar una cerca o barrera de forma muy cerca una planta de la otra. Los setos generalmente están dispuestos en límites de parcela para garantizar la separación

de las propiedades o la protección contra la intrusión. (Sandín , 2009). El seto "natural" es el que da la preferencia a las especies locales es una alternativa a las plantaciones uniformes de thuyas, o de laureles, demasiado sensibles a las enfermedades y la sequía. (Andrés y Cosano, 2002)

1.2 Origen y distribución del piñón botijo (*J. curcas*).

J. curcas es una planta oleaginosa que tiene gran capacidad de adaptación. De acuerdo con Henning (2004) se encuentra en muchos países del trópico y subtrópico del mundo establecida como cerca viva. Heller (1996) menciona que *J. curcas* tiene su origen muy probablemente en Centroamérica, presumiblemente en México.

Estudios realizados en África y Asia revelaron una baja variabilidad genética del germoplasma de *J. curcas* Africano y Asiático (Basha y Sujatha, 2007; Sudheer *et al.*, 2008; Sun *et al.*, 2008; Kumar *et al.*, 2008).

Estudios de caracterización morfológica, bioquímica y molecular mediante marcadores AFLP, demostraron la existencia de gran diversidad genética en poblaciones (Zamarripa, 2011).

1.3 Descripción botánica

Clasificación taxonómica

Reino Plantae

Subreino Tracheobionta

División Magnoliophyta

Clase Magnoliopsida

Subclase Rosidae

Orden Euphorbiales

Familia Euphorbiaceae

Género *Jatropha*

Especie *curcas*

Fuente: SIIT* (2011).

Es una especie diploide con un número de cromosomas $2n=22$ (Dehgan, 1984). Carvalho *et al.* (2008) determinaron mediante un estudio que el tamaño del genoma de *Jatropha curcas* es de (1C) para 416 millones de bases (Mbp). Por su parte Zonneveld *et al.* (2005), mencionan que es relativamente pequeño para el genoma de una planta lo cual hace que *J. curcas* sea un atractivo candidato para secuenciación del genoma.

J. curcas ha sido clasificada de diferentes formas como: *Castiglionia lobata* Ruiz and Pav.; *Curcas adansonii* Endl. Ex Heynh.; *Curcas curcas* Britt. Millsp.; *Curcas indica* A. Rich.; *Curcas purgans* Medic.; *Jatropha acerifolia* Salisb.; *Jatropha edulis* Cerv.; *Ricinus americanus* Miller.; *Ricinus jarak* Thunb (Bisse, 1988). De acuerdo con Font (2003), el género *Jatropha* fue determinado por Linneo (1753-1754) incluyendo en él siete especies, dos de ellas hoy incluidas en *Cnidoscolus*, una especie segregada como tipo del género *Manihot* y otra especie hoy referida al género *Aleurites*; mientras que las tres especies linneanas restantes aún forman parte del género: *J. gossypifolia*, *J. multifida* y *J. curcas*. En Cuba, *J. curcas* es conocida con el nombre común de piñón botija, piñón de cercas y piñón purgante (Bisse, 1988). Este tiene otras denominaciones vulgares en otros países de América.

En Perú se conoce como Piñol; en Costa Rica y El Salvador como tempate; en España como coquillo; y en Honduras cotoncillo. Otros nombres son: coquito, capate, higo del duende, barbasco, higo de infierno, purga de fraile, tua tua, pinhao manso, entre otros (Torres, 2007).

De acuerdo con Reyes (2003), *J. curcas* es una especie con una alta resistencia a condiciones extremas que se cultiva en las zonas tropicales como cerca viva. Muchas partes de las plantas se utilizan en la medicina tradicional.

Según Jones y Miller (1992) El piñón es un arbusto que puede sobrevivir y crecer en tierras marginales y erosionadas, de acuerdo con Kumar y Shama (2006); Achten (2008); King *et al.* (2009) esta especie se adapta a un gran rango de tipos de suelo, puede crecer en tierras áridas-semiáridas, cascajosas, arenosas, salinas e incluso crecen en terrenos pedregosos. Además, los niveles de nutrientes y de agua de los suelos donde crece el piñón suelen ser bajos.

Sin embargo y a pesar que *J. curcas* es considerada una planta rústica, requiere de la aplicación de componentes tecnológicos principalmente la fertilización y las prácticas de poda para obtener buenas cosechas. En la actualidad resultados del INIFAP, muestran que el piñón responde bien a la fertilización mineral y orgánica, con influencia en el crecimiento, en la floración y rendimiento de la planta.

Esta planta ha sido considerada tóxica pues se ha encontrado en la semilla la presencia de alcaloides conocidos como ésteres de forbol, que provocan un efecto purgante y algunos otros síntomas. Sin embargo, en México se han encontrado grandes poblaciones

de plantas no tóxicas, las cuales son consumidas por los pobladores de la región de Totonacapan en Puebla y Veracruz, después de pasar por un proceso de tostado (Cano, 2009).

Kobilke (1989) describe a *J. curcas* como un arbusto caducifolio de 4-6 m de altura, con diámetro de tronco aproximado de 14-18 cm en arbustos adultos, con una corona delgada de ramas muy redondeadas y extendidas, las plantas jóvenes tienen una corona delgada e irregular, corteza externa lisa escamosa y muy delgada, de color pardo claro, con pequeñas lenticelas, corteza interna lisa verrugosa de color verde oscuro, látex blanquecino con sabor amargo, olor a hierba fresca; ramas de 3–5 cm de diámetro, de color verde claro y grisáceo con cicatrices marcadas. (Anexo 1, figura a)

La planta demuestra crecimiento articulado, con una discontinuidad morfológica en cada incremento. La inactividad es inducida por fluctuaciones en la precipitación, temperatura y luz (Kobilke, 1989).

Porte

Arbusto caducifolio, tira las hojas como respuesta a condiciones extremas (anexo 1 figura 1 Plantación de piñón en cercas de...). Según Bisse (1988), Heller (1996) y Joker y Jepsen (2003) esta especie se caracteriza por presentar un porte de hasta 8 m de altura si no se poda, a veces es algo arbustiva con fuste ramificado a poca altura, con copa abierta (ancha) e irregular.

Tallo y hojas

Los tallos crecen con una discontinuidad morfológica en cada incremento. Es un cilindro verde, robusto, que produce ramas con savia láctea o rojiza viscosa. La lámina foliar es simple, alterna, con pecíolos largos, con una longitud de 10 a 15 cm y anchura de 9 a 15 cm, ovadas, con una filotaxia espiral. Son anchamente ovadas, abiertamente cordadas en la base con cinco nervaduras; lámina acorazonada, de 7-32 cm de diámetro, con tres a cinco lóbulos, de borde liso, acuminados, pocos profundos y grandes (anexo 1 Figura 2. Hojas de piñón). El haz es verde; el envés verde claro, glabro o con pelillos finos (Heller, 1996).

Flor (anexo 1, figura b)

El piñón botijo es una planta monoica, rara vez unisexual, produce flores masculinas y femeninas en sus inflorescencias y su proporción es variable. Se han realizado estudios de microsporogénesis y gametogénesis masculina en *J. curcas* (Liu *et al.*, 2007).

Las flores son actinomorfas y dispuestas en racimos, 5 sépalos, de 5-7 mm de largo, corola de color amarillo verdoso campanulada, los pétalos de 0.5–1 cm de largo; 10 estambres unidos en la base con algunos abortivos, los filamentos delgados, las anteras ditécicas, con dehiscencia longitudinal, cinco nectarios presentes a un costado de la inserción de los estambres, ovario supero, trilocular con una placentación axilar, el estilo concrecente, el estigma dividido en seis partes (Heller, 1996).

En la inflorescencia una flor femenina es rodeada normalmente por un grupo de flores masculinas (Figura b). Las flores masculinas abren por un período de 8 a 10 días en la inflorescencia. Las flores femeninas abren solamente 2 a 4 días.

Los sépalos y los pétalos, en las flores femeninas se agrandan gradualmente después de la fertilización de los óvulos y protegen de las condiciones ambientales al embrión (anexo 1 figura 3 Inflorescencia de *J. curcas* constituida por flor femenina rodeada por un grupo de flores masculinas).

En general las flores del género *Jatropha* se caracterizan por ser unisexuales, a excepción de *J. curcas* que presenta flores hermafroditas.

En el cultivo de piñón prevalecen tres mecanismos de polinización; geitonogamia, cuando la polinización ocurre entre flores distintas del mismo individuo; xenogamia, la polinización ocurre con polen proveniente de flores de otros individuos; y apomixis, ocurre cuando se produce frutos y semilla sin que ocurra polinización (Les, 1998). A pesar de la existencia común de geitonogamia, la tendencia a promover xenogamia es significativa (Stebbins 1970, Faegri y Pijl, 1979).

Fruto

Es una drupa oval, de 4 a 5 cm de largo y 3 a 4 cm de ancho, en estado inmaduro presenta un color verde, y en estado maduro se torna de un color amarillo (anexo 1. Figura c. Maduración de frutos de piñón) (Miller, 1962).

Semilla

Ovoides, de 2.0 a 2.4 cm de longitud y de 1.0 a 1.2 cm de ancho, convexas en la parte dorsal y tectiformes en la ventral, presentando algunas líneas amarillentas, con una línea blanquecina apical, indicando la posición de la carúncula, endospermo grueso, el embrión con 2 cotiledones foliáceos, de 10-13 mm. de longitud, de color blanco crema; plántulas con cotiledones simples glabros, con la base redondeada, el margen entero; bordo liso (Miller, 1962). Figura 1

Estudios realizados en semillas, mostraron que el peso de la semillas varió de 0.30 a 1.70 g, la longitud fluctuó de 1.1 a 2.15 cm, el ancho de 0.70 a 1.38 cm y normalmente se encuentran tres semilla por fruto.

Martínez *et al.* (2011) encontraron variaciones importantes en el contenido de aceite y proteína así como en la composición de ácidos grasos de semillas de *J. curcas*. Estos autores reportan contenidos de aceite que fluctúan de 18 a 60 %.

Las semillas de *J. curcas* contienen curcina, la cual a menudo se clasifica como una lectina similar a la ricina de la higuera con la implicación que tiene un efecto similar. Tanto la curcina como la ricina son Proteínas Inactivantes de Ribosoma (RIPs), las cuales impiden el funcionamiento ribosómico de manera catalítica por inactivación del ácido ribonucleico. La curcina es RIPS del tipo 1 (Barbieri *et al.*, 1993; Juan *et al.*, 2003; Qin *et al.*, 2005). La proteínas RIPs Tipo I se encuentran en muchos materiales vegetales comestibles, incluidos muchos cereales como el trigo y la cebada (Motto y Lupotto, 2004), hojas de remolacha, las espinacas y los espárragos (Barbieri *et al.*, 2006).

Otro compuesto presente en las semillas de *J. curcas* son los ésteres de forbol (Adolf *et al.*, 1984; Hirota *et al.*, 1988). Por su parte Haas *et al.* (2002) determinó mediante resonancia magnética nuclear (RMN) la estructura de seis ésteres de forbol.

También contiene algunos compuestos anti nutricionales como los inhibidores de la tripsina, ácido fítico, lectina y saponinas que disminuyen su valor alimenticio. Sin embargo, el contenido y la calidad de la proteína de la semilla, es alto (Makkar *et al.*, 1998) y el contenido de aminoácidos esenciales, con excepción de la lisina, es superior al requerimiento diario definido por los organismos de salud (FAO/WHO, 1991). Esta condición de alto contenido de proteína en la semilla marca un uso potencial para la alimentación animal lo que puede generar un valor agregado al cultivo y darle mayor rentabilidad.

Propagación

La propagación de *J. curcas* puede realizarse por medio de semilla, estacas o por cultivo de tejidos.

Propagación por semilla: por lo general, la semilla fresca muestra porcentajes altos de germinación (alrededor de 80 %) y esta se inicia entre 10 y 30 días después de la siembra. La siembra puede hacerse en camas de siembra, en bolsas o en siembra directa (Heller, 1996; IIAP, 1999). En condiciones de Cuba, la emergencia de plantas ocurre a partir del sexto día.

En bolsas es recomendable utilizar un sustrato con textura franco a franco arenoso, preferiblemente mezclado con abono orgánico.

Las plantas tardan de cinco a siete semanas para alcanzar la altura apropiada para su establecimiento en el campo.

Cuando se realiza la siembra por semilla debido a que *J. curcas* presenta polinización cruzada, presentará heterogeneidad en sus características fenotípicas y genéticas tales como la uniformidad de plantas, época y tipo de floración, vigor vegetativo, rendimientos y contenidos de aceite (Zamarripa *et al.*, 2009).

Por ello resulta imprescindible realizar el mejoramiento genético de *J. curcas* para generar variedades, híbridos o clones; y así producir material certificado que mantenga su identidad y pureza genética, con características favorables como el alto rendimiento en campo, alto rendimiento en aceite y alta calidad industrial.

Propagación por estacas: también la especie puede propagarse mediante estacas de tallos de plantas seleccionadas por características de interés. Zamarripa *et al.* (2009) recomiendan cortar después de la época de lluvias, estacas rectas de 0.80 a 1.0 m de largo y de aproximadamente 4 cm de diámetro.

Para la siembra se realiza una cepa de 20 x 20 x 20 cm. Al momento de la siembra, la estaca queda de 0.60 o 0.80 m de altura, favorable para la emisión de brotes vegetativos los cuales formaran la estructura de la planta. Con este método de propagación el prendimiento es superior al 95 % y la emergencia de brotes se observa a los 18 días bajo las condiciones de trópico húmedo (Zamarripa *et al.*, 2009). Cabe destacar que el porcentaje de prendimiento depende del genotipo. En experimentos realizados con 17 variedades y usando estacas de 40 cm de longitud se observaron, al tercer mes de siembra, valores que fluctuaron de 7 a 85 % de prendimiento.

Cultivo de tejidos vegetales en la especie

Esta técnica tiene la ventaja de producir un mayor volumen de plantas en corto tiempo y a bajos costos. La técnica consiste en aislar cualquier parte viva de una planta (célula, un tejido o un órgano) para cultivarla en un medio nutritivo y en condiciones asépticas artificiales (en laboratorio) para regenerar una planta completa.

1.4 . Agrotecnia del cultivo

Siembra

Para el área de Cuba, la fecha de siembra es al inicio de lluvias intensas durante mayo y junio. Se requiere considerar en promedio 3.3 kg de semillas para el establecimiento de una hectárea de *J. curcas* asumiendo que el 50 % es para resiembra. Se utiliza una semilla por golpe.

La profundidad de siembra de la semilla es de 2 a 3 cm dentro de la capa húmeda del suelo, no es conveniente sembrar muy profundo ya que se puede retardar la emergencia de la plántula, y se corre el riesgo de que la semilla no germine. La emergencia de la plántula se observa en promedio a los 6 días. Es importante realizar un conteo de las fallas a los 15 días para realizar una resiembra.

Distancias de siembra

Según Hooda y Rawat (2005), la experiencia de la India y otros lugares muestra que una densidad de 2, 500 plantas por hectárea (con distancia de 2 x 2 m) puede ser óptima. De acuerdo con Mayorga (2006), la siembra puede hacerse en tresbolillo, en un marco de plantación de 2 x 4 m y en el primer año puede sembrarse un cultivo anual intercalado.

En México se realizaron experimentos de evaluación de densidades de población en diferentes ambientes. Se evaluaron diferentes densidades de población, que variaron de 816 hasta 4,444 plantas ha, en marco de plantación de 1.5 x 1.5 m, 2 x 2 m, 2.5 x 2.5 m, 3 x 3 m y 3.5 x 3.5 m.

De manera general, las mejores densidades fluctuaron entre 2,500 y 4,444 plantas por hectárea, ya que a densidades menores los rendimientos fueron inferiores. Para ambientes más cálidos, la densidad recomendada es de 1, 666 a 2, 222 plantas por ha en arreglos de 3 x 1.5 y 3 x 2 m, respectivamente.

Sistemas de producción

El piñón botijo se puede establecer en asociación con otros cultivos intercalados con maíz, frijol, calabaza o el cultivo de la región. Se sugiere la siembra de este sistema utilizando distancias de 3 a 4 metros entre calle y 2 m entre plantas de piñón.

En Chiapas, México se estudió el sistema de producción piñón mexicano –maíz (*Zea mays* L.) con relevo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), con el objeto de obtener el mejor arreglo de plantación que permita optimizar la productividad y el uso eficiente del suelo.

Las distancias de siembra utilizadas en piñón fueron de 2 x 2, 2 x 4 y 4 x 4 m con densidades de población de 2500, 1250 y 650 -1 plantas ha , respectivamente. En maíz se utilizaron uno, cuatro y cuatro surcos de plantas entre las calles de piñón en las densidades citadas. En rotación, se utilizaron dos, cinco y siete surcos de frijol entre los

surcos de piñón en las distancias mencionadas. De acuerdo a los resultados obtenidos, se recomienda establecer una plantación de piñón mexicano de 2 x 4 m con cuatro surcos de maíz en la calles y en rotación cinco surcos de frijol.

Manejo de la plantación

Fertilización

Uno de los grandes mitos del piñón es que se adapta a suelos pobres de baja fertilidad y que no requiere fertilización. Sin embargo resultados del INIFAP demuestran que una planta de piñón sin fertilizar o abonar estará mal nutrida, débil y poco vigorosa propensa a tener una baja producción.

Expertos en el cultivo de piñón del INIFAP, realizaron ensayos de fertilización en ambientes edafoclimáticos diversos.

Se encontró una respuesta alta a la aplicación de fertilizantes tanto químicos como orgánicos, en el primer y segundo año de la plantación.

La fertilización con Nitrógeno (N) y Fósforo (P) incrementó el rendimiento de 400 a 800 % y favoreció el desarrollo vegetativo (número de ramas, número de hojas, diámetro de tallo, etc.) de manera significativa. Siendo la fórmula 60-40-20, la de mejor respuesta con un rendimiento de semilla superior a 400 %.

La nutrición de *J. curcas*, se realizará en el primer año del establecimiento del cultivo con la fórmula 60-40-20 con dos aplicaciones al año. La primer dosis se debe de aplicar a los 30 días después de la siembra empleando 56.42 g por planta de la fórmula 60-40-20, la cual se puede obtener mediante una mezcla física con 130.43 kg de Urea, 86.95 kg de SFT y 33.33 kg de KCl.

La segunda dosis se debe aplicar después de realizar la poda de formación a razón de 56.42 g planta. Al mes de haber realizado la poda y la aplicación de la segunda dosis de fertilizante se puede utilizar nutrientes foliares a razón de 1 L ha. Al segundo año de establecido el cultivo es recomendable la aplicación de la fórmula fertilizante 100-40-80 a razón de 194.58 g por planta dividido en dos aplicaciones, la cual se puede obtener con la mezcla física de 235.36 kg de (17-17-17), 130.4 kg de Urea y 66.66 kg de KCl. En la primera dosis se emplea 97.29 g de la mezcla fertilizante, la cual se aplica después de la segunda poda de formación; al mes de esta actividad se sugiere realizar una aplicación de fertilizante foliar a razón de 1 L ha.

La aplicación de la segunda dosis de 97.29 g de fertilizante, se debe realizar durante el periodo de inicio de lluvias, es recomendable para el amarre de flor y fruto la aplicación de -1 nutrientes foliares en la dosis recomendada ($1 \text{ L} \cdot \text{ha}^{-1}$)

Se puede complementar la fertilización química con la aplicación de abonos orgánicos los cuales contienen nutrimentos esenciales para el crecimiento de las plantas. Se sugiere aplicar también, con la misma técnica de rayado, de 2 a 3 kg de abonos orgánicos por planta dividido en dos o tres aplicaciones al año.

1.6.2. Podas

La poda permitirá formar la arquitectura ideal de la planta, fomentar la producción temprana, obtener una mejor producción, más competitiva y constante a través del tiempo y lograr una larga vida productiva de la plantación.

Dada la diversidad genética presente en las variedades de Chiapas se observarán plantas provenientes de semilla con buena arquitectura (anexo 1 figura poda), en las cuales sólo se debe realizar una poda selectiva (eliminada ramas con crecimiento hacia el suelo, entrecruzadas y enfermas) y una poda de aclareo, fomentando la mejor circulación de aire y penetración de luz, que influye directamente en el crecimiento del rebrote, en el cual se realizaran las futuras fructificaciones.

La mayoría de plantas de una población sin selección genética presentan crecimiento raquítrico y sin diseño. En estos genotipos es necesario formar su estructura mediante las podas estimulando la ramificación y formación de la planta a través del tiempo.

Con la realización de la poda en la planta de piñón, se pretenden conseguir seis objetivos; 1) Regular el porte y el equilibrio, según las necesidades del cultivo; 2) Adaptar la plantación al sistema de formación de la planta; 3) Mejorar la aireación e iluminación de la planta; 4) Eliminar las partes dañadas, improductivas o enfermas; 5) Favorecer la floración y fructificación; y 6) Aumentar el rendimiento de la plantación.

Poda de formación

Esta operación consiste en el acotado de la planta de piñón a la altura en la que se desea iniciar la formación del árbol. Dependiendo del genotipo y del sistema de formación elegido, el acotado se va a realizar a una altura diferente. Es recomendable mantener la altura del primer corte entre 40 y 60 cm.

Para la realización del acotado en una plantación, es importante tomar una referencia de altura, como varas o reglas previamente medidas. Se debe tratar de mantener la misma

altura desde el suelo al corte en toda la plantación, obteniendo así un sistema de formación homogéneo.

Esta primera poda se realiza al quinto mes de edad de la plantación ó al final de la época de lluvias. Una vez realizado el acotado, se producirá brotes de los cuales emergen los brotes que se convertirán en los futuros brazos de la estructura del piñón, generalmente emite cuatro brotes.

Cuando los brotes alcanzan un mayor grado de lignificación, es decir, se conviertan en ramas, se comienzan a guiar eliminando las ramas que no queden dentro de la orientación deseada.

Se realiza una segunda poda de formación. Esta práctica se lleva a cabo en las ramas primarias o brazos principales, efectuando un corte a 80 cm del cuello del tallo con esta actividad se puede propiciar la formación de 20 ramas. Esta actividad se realiza al finalizar la cosecha o el periodo de lluvias.

Poda productiva

Esta poda se realiza para bajar el porte de la planta de piñón y para fomentar la emergencia de brotes productivos. Esta actividad se debe de realizar un mes después de término de cosecha y de acuerdo al ciclo fisiológico de la planta o de lo contrario se puede dañar el ciclo productivo del piñón.

Para Cuba la mejor época para realizar la poda productiva es de diciembre-enero, meses que coincide con término del periodo de lluvias, finalización de cosecha y periodo de descanso de *J. curcas*. Cuando se realiza esta actividad en este periodo se fomenta el desarrollo de brotes productivos conforme al ciclo fisiológico de *J. curcas*.

Se realiza el acotado a una altura de 1.20 a 1.40 m facilitando la cosecha. El corte se debe realizar en forma diagonal, para evitar durante el temporal, la acumulación de agua de lluvia y pudrición de ramas.

Después de la poda de las ramas hay que aplicar cal disuelta en agua, oxiclóruo de cobre o pintura de aceite en el área del corte para ayudar a una rápida cicatrización y evitar daños por insectos.

Al mes de realizar la poda productiva se observara el crecimiento de los brotes vegetativos y la aparición de los primeros brotes florales.

Control de malezas

J. curcas presenta un crecimiento inicial lento, siendo las malezas un problema importante en esta etapa de crecimiento. Las malezas compiten con el cultivo de *J. curcas* por agua,

luz, nutrientes, espacio y CO₂; además que diversos autores reportan 2 que algunas malezas segregan sustancias alelopáticas que limitan el crecimiento del piñón mexicano. El control de malezas puede ser realizado de forma manual y/o química. Para el caso del trópico húmedo se realiza esta actividad de forma integral realizando una limpia manual un mes después de establecido el cultivo elaborando el cajete en la zona de goteo de la planta. Una semana después de haber realizado esta actividad se realiza la aplicación de un herbicida comercial a razón -1 de 1.0 L* ha⁻¹, se debe de realizar las aplicaciones por la mañana cuando los vientos son menos fuertes. Esta actividad integral se debe de realizar por lo menos dos veces al año.

Plagas y enfermedades

Entre las plagas que afectan el cultivo, particularmente es notable el orden de insectos Heteroptera (anexo 1 Figura). También los barrenadores del tallo, de la familia *Cerambycidae*, del orden Coleóptera los cuales pueden matar los arboles de *J. curcas*.

Las chinches, cigarras y larvas de insectos además del grupo de ácaros fitófagos son los principales insectos que se han detectado en el piñón botijo.

Los pocos insectos presentes comedores de hojas, no son capaces de hacer mucho daño cuando los árboles han pasado la fase de vivero. Sin embargo algunos de estos insectos pueden convertirse en plagas en un futuro, justo cuando *J. curcas* se cultive extensivamente.

En las zonas con alta precipitación, humedad y temperatura además con suelos pesados y con drenajes deficientes la incidencia de enfermedades es mayor. Algunas enfermedades que se presentan en *J. curcas* son las siguientes: la antracnosis, enfermedad causada por un hongo que puede ser generalmente *Colletotrichum* o *Gloeosporium*. Entre los síntomas se encuentran manchas hundidas de diversos colores en las hojas, tallos, frutos o flores, que muchas veces derivan en el marchitamiento y muerte de los tejidos (anexo 1 Figura). El hongo fusarium, coloniza los conductos xilemáticos de la planta; bloqueando y tapando los vasos, lo que determina la aparición de síntomas de marchitamiento de hoja, clorosis y eventualmente necrosis y la muerte de la planta. Pudrición de raíz causada por hongos del genero *Fusarium* spp.

Las royas, enfermedad causada por hongos de los géneros *Puccinia* sp., *Uromyces* sp., *Phragmidium* sp., etc., se caracterizan por la aparición sobre las hojas y tallos de unas manchas o bultitos de color rojo, castaño, naranja o amarillento, según la especie de roya que se trate. Las hojas muy afectadas se secan y caen.

La presencia de estas enfermedades no ha llegado al punto de daño económico. Sin embargo se puede realizar aplicaciones -1 preventivas de fungicidas a razón de $2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, dividida en dos aplicaciones al año, la primera en el mes de mayo, y la otra en el mes de julio.

1.5 . Cosecha

La falta de uniformidad del fruto de piñón durante la maduración dificulta determinar el punto de cosecha, por lo cual se recolectan únicamente los frutos con madurez a corte, que tienen tonalidades amarillas. Actualmente esta actividad se realiza de forma manual, ocupando dos jornales para cortar 500 kg de fruta por unidad de superficie en cada corte. Se considera que una buena variedad de *J. curcas* debe presentar uniformidad en la fructificación y maduración permitiendo que la actividad de cosecha se realice con un mínimo de cortes. La diversidad genética presente deberá permitir la búsqueda de variedades más uniformes con maduración homogénea.

1.5.1 Manejo de poscosecha y almacenamiento

Se utiliza una descascaradora manual para beneficiar el fruto. El rendimiento de semilla es en promedio de 20 % sobre frutos cosechados. Después de las actividades de cosecha y beneficiado, los granos de *J. curcas* deben ser envasados en sacos de 50 kg y almacenados para su proceso de comercialización.

1.6 . Extracción del aceite

Distintos autores mencionan que es necesario realizar operaciones previas al proceso de extracción, como limpieza, descascarado, secado y molienda. La cantidad de aceite extraído será función del tipo de proceso, el solvente utilizado, el tamaño y contenido de agua presente en las semillas.

Al encontrarse la mayor cantidad de materia grasa en la parte interna (almendra o endocarpio) será necesario realizar el descascarado para optimizar el proceso de extracción.

La humedad de la semilla de *Jatropha curcas* (sin la cáscara) oscila entre un 3.7% y 4.2%, dependiendo del tiempo de cosecha. El secado elimina el agua existente y mejora las condiciones operativas en el proceso de extracción de aceite.

La extracción de aceite en semillas de *Jatropha curcas* se puede realizar por diferentes métodos. En general, los más utilizados son: extracción por prensado, extracción con solvente o la combinación de ambos. La selección de uno u otro proceso dependerá del

tamaño del emprendimiento, siendo factible el proceso con solvente cuando la escala del proyecto sea mayor a 50t de aceite por día.

El método mecánico (extracción por prensado) puede darse de dos formas distintas: prensa manual o prensa mecánica. En función del tipo de prensa (tornillo o presión), se puede llegar a extraer desde un 60-65% (prensa manual) hasta un 75-80% del aceite (prensa mecánica). El tipo de proceso puede ser más eficiente si se realiza algún pretratamiento, como el secado, o una secuencia de etapas de extracción. Mediante prensa a presión en frío, se puede obtener entre 27 y 32kg de aceite cada 100 kg de semillas.

La extracción química implica la utilización de diversos solventes. El compuesto que mejores resultados ha dado es el n-hexano. Si bien presenta la ventaja de quitar todo el aceite contenido en la semilla en períodos cortos de tiempo, acarrea desventajas como las emisiones de compuestos orgánicos volátiles al medio ambiente y problemas en la salud para las personas que lo manipulan si no se toman las medidas de seguridad adecuadas. Otros solventes que han sido reportados son: extracción enzimática en base acuosa y extracción con etanol o isopropil alcohol en condiciones supe críticas. Respecto a la extracción enzimática, se obtuvo un 74% del total del aceite en semillas de *Jatropha Curcas*, realizando pretratamiento con ultrasonido y extracción alcalina con un conjunto de enzimas (Pectinex Ultra SP-L, Promozyme, Cellulase, Protizymee) a pH 9.

Existen dos formas de operación en la extracción de aceite con solventes: continuo y batch. La extracción continua es viable en capacidades superiores a las 200t de aceite/día. En este caso, las semillas son colocadas sobre mantas percolantes, que se movilizan a una determinada velocidad en función del tiempo de extracción. El hexano es rociado sobre estas en contracorriente (hexano puro al final de la cinta) mediante bombas que colectan la mezcla y la vierten nuevamente sobre manta El proceso batch se realiza a través de tanque con falso fondo, donde se colocan las semillas trituradas. El hexano es rociado sobre estas y colectado por el fondo de tanque, donde se recircula continuamente durante 10-20 minutos. En ambos casos, posterior a la extracción, la mezcla hexano – aceite (comúnmente llamada micela) se separa a través de destilación a temperatura o bajas presiones (vacío).

Las operaciones de acondicionamiento del aceite dependerán del tipo de proceso realizado. Para la extracción por prensado, será necesario eliminar los sólidos mediante centrifugación (útil para gran escala, por el alto costo), decantación (para pequeña escala;

1T/d) y filtración (a través de tela, con distintos diámetros en función de la calidad a

Tabla 1. Rendimientos de la producción de aceite según el método de extracción.

Materia prima	Jatropha
Eficiencia de extracción de aceite	
Extracción mecánica	70%
Extracción por solventes	96%
Rendimiento del aceite	
Extracción mecánica:	4.1 kilos por litro 553 litros por hectárea
Extracción por solventes:	2.7 kilos por litro 730 litros por hectárea

obtener y tiempos elevados, que pueden optimizarse si se realiza posterior a la decantación) en forma individual o conjunta.

En caso que quiera obtenerse un aceite refinado, deberán llevarse a cabo etapas como: desgomado, neutralizado, desodorizado y blanqueado.

Los parámetros fisicoquímicos del aceite poseen una marcada influencia en el tipo de uso dado al producto final. Uno de los principales es la composición de ácidos grasos. La longitud de la cadena carbonada y la cantidad de dobles enlaces existentes determinan ciertas características del aceite como la estabilidad a la oxidación, el número de cetanos, índice de yodo, temperatura de niebla y escurrimiento. Aceites vegetales ricos en ácidos grasos poliinsaturados (como es el caso del linoleico) tienden a generar metil ésteres con una baja estabilidad a la oxidación. Además, niveles altos de insaturaciones se relacionan con bajos puntos de escurrimiento.

Se puede observar que la *Jatropha curcas* presenta un predominio de ácidos grasos monoinsaturados (34.3 – 44.7 %), luego poli-insaturados (32.1 – 43.2%) y saturados (19.6 – 25.3%). Los principales ácidos grasos encontrados en el aceite de *Jatropha curcas* son: oleico, linoleico, palmítico y esteárico

1.7 . Producción de biodiesel

Para la *Jatropha* la tecnología más ampliamente usada en la producción de biodiesel es la transesterificación básica de triglicéridos descrita en el apartado anterior. Además, se recomienda una etapa de esterificación ya que el contenido de ácidos grasos libres es generalmente alto.

A continuación se presenta una descripción detallada de la transesterificación y los pasos que le siguen. En esta parte del proceso se remueven sustancias indeseables como fosfatos, ceras, ácidos grasos libres, tocoferoles, colorantes, humedad, aldehídos, acetonas, etc. con el fin de producir un biodiesel con las propiedades físicas y químicas adecuadas. Durante esta etapa se pierde entre un 4% y 8% del aceite.

- El primer paso es la remoción de fosfátidos o desgomado por la adición de ácido fosfórico o cítrico. Esto es necesario ya que los fosfátidos provocan turbidez y promueven la acumulación de agua.
- El segundo paso es la neutralización de los ácidos grasos libres con un catalizador básico (normalmente hidróxido de sodio). Esto produce jabón, que es insoluble con el aceite y es fácilmente separado por lavados con agua. En este paso también se remueven fenoles, compuestos grasos oxidados y metales pesados.
- El tercer paso es la remoción de colorantes que se hace por medio de materiales adsorbentes tales como: tierras diatomeas, sílica gel y carbón activado. Este paso mejora la capacidad de almacenamiento del biodiesel.
- En el cuarto paso se retiran sustancias tales como aldehídos y cetonas que provocan olores no deseados por medio de destilación con vapor.
- En el último paso, la deshidratación, se reduce el contenido de agua remanente en el biodiesel, a través de la destilación a baja presión o por absorción con nitrógeno.

Rendimientos

El rendimiento por hectárea, después de los 5 años es de 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 toneladas 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).

1.8 . Costos agrícolas de la producción de biodiésel

Según el estudio del INE, tomando como base los datos de la primera planta de procesamiento de biodiesel establecida en Michoacán, México se obtuvieron los siguientes costos.

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 ese 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.
- La pasta de las semillas (torta residual) tiene entre 58% y 60% de proteína cruda y aminoácidos esenciales que puede ser vendida como alimento para ganado a un 80% del precio de la pasta de soya.

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

- Semillas: 65%:
- Aceite: 38%.

- Torta residual: 62%.
- Cáscaras: 35%.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se hará la evaluación agroproductiva de cercas y setos vivos ya establecidos de dos localidades de la región de Sancti Spíritus que funcionan como tratamiento:

- A) Cercas vivas de la periferia del jardín de variedades de caña de azúcar de la empresa agroindustrial Melanio Hernández Tuniucú. Con una longitud de un Km.
- B) Las cercas vivas y setos de la finca la Bienvenida aledaña a la Estación de Pastos y Forraje de Sancti Spíritus. Con una longitud de 0,7 Km.

Se tomaron 3 porciones lineales de las vallas de 10 m de longitud con intervalo de 25m, en ellos se analizará como promedio 10 unidades de muestreo las siguientes variables:

1. Edad promedio de las plantaciones. Para ello se mide el diámetro a 1,3 metros del suelo que permiten establecer la edad del árbol, Se utiliza cintas métricas y se calcula la relación $=2\pi r$. ($\pi= 3,14159$ y r es la longitud del radio) anexo 1
2. Distancia de plantación. Se analizará además en las cercas vivas composición florística de estas.
3. Edad promedio.
4. Grosor del tallo.
5. Número de ramas
6. Numero de frutos por planta.
7. Algunas características físicas de la semilla: Peso, longitud y grosor de 100 semillas. Se tendrá en cuenta si son las mismas variedades.
8. Producción de aceite de 1 kg de semillas pretostadas. Este se realiza mediante la combinación de extracción por prensado y con disolventes que consiste en los siguientes pasos:
 - a) Las semillas molidas son trituradas en forma de rodillos;
 - b) El rodillo pasa a un acondicionador para su homogeneización;
 - c) el rodillo homogéneo pasa a un molino donde es en partes muy finas para facilitar la extracción;
 - d) El rodillo dividido pasa a un extractor, donde es sometido a la acción de un disolvente de materias grasas, siendo el hexano el más utilizado en la industria moderna.
9. Rendimiento de biodiesel de 1L de aceite. Primeramente se obtiene el biodiesel mediante las siguiente reacciones para 1 L de aceite vegetal (normalmente bajo en agua (2% max) de lo contrario se obtendrá jabón). Se añade 200 ml de metanol y 3,4

g de soda cáustica (NaOH) (hidróxido de sodio). Se debe mezclar primero el metanol con la soda cáustica para generar metóxido de sodio. *** Tener especial cuidado al mezclar estos dos ya que la soda cáustica combinada con metanol generará una reacción exotérmica muy agresiva, que puede quemar la piel, ojos, etc. *** Una vez que se obtiene el metóxido, mezclar con el aceite vegetal, calentar a 55 °C y mezclar durante una hora, dejar reposar y en aproximadamente 3 horas se obtiene el biodiésel. Que se muestra como una capa ligera de aceite transparente arriba y una capa densa y oscura de glicerina abajo. A partir de ambos resultados (7 y 8) se determina volumen de aceite producido y rendimiento en biodiesel por la diferencia de volúmenes.

Se estableció la comparación entre las dos áreas estudiadas, a partir de la descripción de los resultados y la recogida de datos en una matriz (anexo 2), que permitió elaborar una estrategia de utilización de las cercas vivas y los setos para la producción de biodiesel en la provincia de Sancti Spíritus

Se infiere las diferencias por análisis de medias.

Análisis y discusión de los resultados

A continuación se hará un análisis de cada uno de los muestreos realizados a los tratamientos, los cuales representan unidades aisladas, que permitió dar una visión del comportamiento de las plantas en cada una de las condiciones ya establecidas sin predeterminación. Es importante destacar que muchas de estas áreas existen en la provincia de Sancti Spíritus, creadas sin ninguna norma de plantación solo con el fin de limitar zonas ya sea de potrero o de lugares con determinada función, se utiliza la *Jatropha* porque junto con un reducido número de especies son de fácil multiplicación para el posteo de vallas o cercas limítrofes

En el muestreo al tratamiento A (cercas del jardín de variedades de caña de azúcar de la empresa Agroindustrial Melanio Hernández, Tuniucú, se inventarió tres segmentos de 10 m cada uno de cercas, los cuales constan de una media de ocho plantas por segmento de *Jatropha*, que están a 0,89 m de narigón, existiendo un promedio de 80 plantas inventariadas, las cuales están intercaladas en algunos tramos con postes a 1,20m de distancia de hormigón armado y otras plantas ya establecidas de muchos años de creada la cerca como: *Spondias purpurea* L. (ciruelón o ciruela amarilla), *Cocos nucifera* L. (coco) y bienvestido o mata ratón *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp.

Las plantas de piñón existentes en estas cercas fueron obtenidas por reproducción asexual, como se aprecia en la tabla 1, las plantas censadas en cada uno de los segmentos del tratamiento tienen un diámetro promedio de 15,6 cm, por lo que estamos en presencia de plantas relativamente jóvenes menos de 6 años, con una media de 5,4 ramas por plantas, mostrando una poda antrópica anual que desbasta la formación arbórea de la planta, esto es típico de las plantas que funcionan como poste de cerca, esto hace que las ramas terminales crezcan alto, alcanzando un tamaño de aproximadamente a 3m de alto, los racimos brotan en la zona apical a 5,5 racimos por plantas, los que poseen de 5 a 6 frutos por racimos, por lo que cada planta llega a producir alrededor de 24,4 frutos por plantas como promedio, si cada fruto produce tres semillas, se estima que: una cerca de 1km aproximadamente como esta, contiene 1123 plantas.

En el estudio realizado se constató que el peso de 100 semillas secas es de 92,39 g como promedio, valor este que es del 27% menos del peso que tiene las semillas de *Jatropha* en condiciones de cultivo y utilizando variedades élites (Martínez, 2011), se calcula entonces que se puede producir 75,9 Kg de semillas secas en una cerca como esta. Tenemos que los estimados en estas condiciones son muy bajos, ya que el rendimiento

promedio de la *Jatropha* en una plantación después de 5 años de establecida es de 5 t*ha⁻¹. (Zamarripa et al, 2011), para la comparación, hubo de convertir 1km lineal en hectárea, donde es equivalente su producción a 759 Kg*ha⁻¹, aproximadamente 6 veces menor que la producción de estas plantas con las atenciones culturales requeridas según la literatura citada.

Tabla 1. Tratamiento A de 1Km de cercas vivas, jardín de variedades de caña de azúcar (los valores están en promedio)

segmento	Distancia de plantación	Diámetro (cm)	No. de ramas	No. de frutos por plantas	Peso de 100 semillas Secas (g)	Rendimiento de aceite x Kg de semilla %	Rendimiento de biodiesel x 1L de aceite L
1	1,0	16,8	4,8	21	92,50	20	0,79
2	0,83	14,5	5,4	23,6	92,33	20	0,80
3	0,85	15,4	6,25	28,5	92,35	20	0,80
Media	0,89	15,6	5,4	24,4	92,39	20	0,79

Se deduce de este estudio, que estas plantas al haber sufrido una poda indebida que traumatiza el desarrollo del tallo y de su sistema de ramas, estar en condiciones de secano sin atenciones de fertilización y cultural, en suelos antropizados como son los linderos, no producen lo suficiente, hay que tener en cuenta además que dichas cercas tiene según entrevista a los obreros del jardín, aproximadamente 8 años, una desarrollo productivo suficiente para producir 2t*ha⁻¹ como promedio, para una variedad no identificada.

En cuanto al aceite producido, dio un rendimiento promedio del 27 al 30% del peso seco de la semilla pretostada en extracción por prensado, valor este que está por debajo de los valores de las variedades élites en el mundo; los cuales están a razón de 65 % del peso seco de la semilla seca (Nielsen, 2009), por tanto se calcula que la producción de aceite de la cerca del jardín de variedades de caña de Tuniucú, sería de 168,8 kg de aceite en cada campaña de recogida. Valor este que produciría 154,5 kg de biodiesel como promedio ya que se pierde el 8 % del aceite destinado a la producción del biocombustible, se obtiene además un 8,5 % de un subproducto que puede ser fermentado para la alimentación animal, según reporte de la literatura contiene 57% de proteínas, con un alto valor calórico.

En el tratamiento B (cercas vivas y setos de la finca la Bienvenida aledaña a la Estación de Pastos y Forraje de Sancti Spíritus) se dividió la finca en dos zonas, ya que las cercas

y setos vivos formaban parte de potreros diferentes existentes en ella. La primera zona (tabla 2) de 100 m² donde se inventarió 84 metros lineales en segmentos alternos de 10 m para una media de 12 plantas, solos en estas cercas existe como postes la *Jatropha*, es de destacar que algunos segmentos estaban puestos en setos a “capricho” del productor estos se obviaron, los demás son cercas bien establecidas.

La segunda zona de 88 m² (tabla 3) se inventarió 38 metros lineales de setos vivos, con igual frecuencia de conteo, dando como promedio 6 plantas por metro, estos segmentos en algunos casos están intercalados con ciruelón (*Spondias purpurea* L.) los cuales constituyen “madres” de la cerca, no se evidencia ningún ordenamiento en el establecimiento de dichas barreras .

Tabla 2. Tratamiento B, zona 1 de 84 m de cercas vivas, finca la Bienvenida Sancti Spíritus

Segmento De las cercas	Distancia de plantación	Diámetro (cm)	No. de ramas	No. de frutos por plantas	Peso de 100 semillas secas	Rendimiento de aceite x Kg de semilla %	Rendimiento de biodiesel x 1L de aceite L
1	1,46	25,5	6,4	25	95,5	27	0,85
2	1,32	24	6,0	23,4	93,3	26	0,86
3	1,36	25	5,4	24,4	95	26	0,83
Media	1,42	24,3	6,0	24	99	26	0,86

Las plantas existentes en estas cercas fueron obtenidas por reproducción asexual también, como se aprecia en la tabla 2, las plantas censadas pertenecen a la zonas 1 del tratamiento B, esta por pertenecer a segmentos que constituyen cercas vivas solamente, se aprecia que tienen un diámetro promedio de 24,3 cm, por lo que estamos en presencia de plantas relativamente menos jóvenes, aquí tuvimos la oportunidad como son propiedades particulares de entrevistas espontaneas con el campesino, determinar una edad más aproximada, entre 8 y 9 años, con una media de 6 ramas por plantas, mostrando una poda antrópica anual que al igual que las cercas del jardín de Tuniucú, influye en la formación arbórea del la planta, ya que todas estas plantas que funcionan como poste de cerca son reservorios para la producción de postes, como ya se planteo la influencia de esta causa hace que las ramas terminales crezcan alto, alcanzando un tamaño de aproximadamente a 3,5 m de alto, los racimos brotan en la zona apical a razón de 5,7 a racimos por plantas, los que poseen de 5 frutos por racimos como promedio, por lo que cada planta llega a producir una media de 24 frutos por plantas, si cada fruto

produce tres semillas, se estima que: una cerca de 84 metros lineales sin contar los segmentos de esta zona que están configurados como setos, contiene 102 plantas.

En el estudio realizado se constató que el peso de 100 semillas secas de estas plantas es mayor que de las plantas más jóvenes de la cercas del banco de semillas de caña de Tuniucú, con un peso de 99 g como promedio, valor este que sigue siendo menor del peso que tiene las semillas de *Jatropha* en condiciones de cultivo y utilizando variedades élites (Martínez, 2011), se calcula entonces que se puede producir 7,5 Kg de semillas secas en una cerca como esta. Tenemos que los estimados en estas condiciones son muy bajos, ya que el rendimiento promedio de la *Jatropha* en una plantación después de 5 años de establecida es de $5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. (Zamarripa et al, 2011), en la conversión de 84 metros lineales en hectárea, la producción equivalente es de $892,8 \text{ Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, aproximadamente a las producciones de algunos clones de países de América Latina (López, 2008), como se aprecia la producción de estas plantas con las atenciones culturales sería superior, no obstante hay que valorar que la edad de estas plantas es ya de más de 6 años y constituyen árboles establecidos.

Es importante destacar además, que el rendimiento es superior a las plantas de las cercas del tratamiento A, por lo que refleja que la edad del árbol influye hasta este momento en la producción de frutos.

Tabla 3. Tratamiento B, zona 2 de 38 m de setos vivos, finca la Bienvenida Sancti Spíritus

Segmento De los setos	Distancia de plantación	Diámetro (cm)	No. de ramas	No. de frutos por plantas	Peso en g de 100 semillas secas	Rendimiento de aceite x Kg de semilla %	Rendimiento de biodiesel x 1L de aceite L
1	0,29	10,9	2,8	9,2	91,5	21	0,80
2	0,32	13,1	3,4	11,4	92,0	22	0,81
3	0,29	12,5	2,8	9,6	91,3	20	0,80
Media	0,3	12,2	3,0	10,1	91,6	21	0,803

El número de plantas por segmento es entre 33 y 34 plantas mientras que en las cercas es de 6 a 8 plantas es de 4 veces más

Aquí se evidencia que existen segmentos que han sido podados para la obtención de postes

Tabla 4. Algunas características físicas de la semilla de la Jatropha

Semillas con testa				Grano seco			Promedios %	
Tratamientos	Longitud (mm)	Grosor (mm)	Peso (g)	Longitud (mm)	Grosor (mm)	Peso (g)	Testa	grano
A	17,3 ^a	7,7 ^a	0,90 ^a	13,2 ^a	6,0 ^a	0,78 ^a	47,5 ^a	52,4 ^a
B zona 1	17,0 ^a	7,0 ^a	0,99 ^a	12,9 ^a	5,2 ^{ab}	0,70 ^a	48,2 ^b	51,8 ^b
B zona 2	14 ^b	5,9 ^b	0,95 ^a	11,5 ^a	4,8 ^b	0,76 ^a	49,7 ^c	50,3 ^c



Localidad A

Localidad B zona 1

Localidad B zona 2

Figura 1. Muestra de semillas de cada una de las localidades de estudio.

2.1.3. Estimación de producción aceite y biodiesel de jatropha a mediano plazo.

Potencial productivo en el municipio de Sancti Spíritus

Según los estudios realizados por el proyecto de Desarrollo rural de la estación de Pasto y Forraje de Sancti Spíritus, se cuenta con disponibilidad de 3ha, para el cultivo de Jatropha con alto potencial de productividad.

Tomando en cuenta esta disponibilidad y la capacidad de producción de la cercas y setos vivos inventariados y que pueden ser incrementado al ganar en cultura de cercado con esta planta de gran poder de prendimiento y viabilidad como poste, se hace una estimación de capacidad de producción de aceite y biodiesel en Sancti Spíritus. Para esta estimación se considera el genotipo salvaje con que se cuenta en la provincia.

Producción de Aceite de Jatropha

Según los valores obtenidos de rendimiento de las semillas de Jatropha con el genotipo que se cuenta, en la generación de aceite (de 20 a 30%), se calcula que según de la cosecha estimada, se obtendrán un total de 873,45 L de aceite de Jatropha, al producir 3,2 t de semilla ($750 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ según López, 2008) en el área estimada, donde según guía técnica el costo por hectárea en edad de plena producción puede llegar a 1,019 dólares por hectárea y la producción permite una ganancia de

El informe Agricultural Outlook 2007-2016 de OECD-FAO, del presente año, proyecta que en los próximos años los precios internacionales de los granos se mantendrán elevados a partir del crecimiento de la demanda bioenergética. Se prevé que el consumo de aceites vegetales con destino a biodiesel prácticamente se duplique entre a partir de 2010 hasta el 2016, al pasar de alrededor de 8,0 millones de toneladas a 15,5 millones de toneladas.

La producción mundial de etanol es actualmente de 50,000 millones de litros/año según dicho informe, mientras que la producción mundial de biodiesel es diez veces menor en volumen.

La demanda mundial de biocombustibles, se estima por esta organización, crecerá gradualmente a 120,000 millones de litros en el año 2017, generando una gran oportunidad de comercialización a los países con excedentes exportables a precios competitivos.

Por lo que se estima que plantaciones de Jatropha en gran escala proveerían una cantidad enorme de energía renovable a partir del sol, el agua de lluvia y los elementos en suelos y aire. Además estas plantas capturan alrededor de 6.0 t de CO_2 por hectárea durante su desarrollo.

El rendimiento por hectárea, después de los 5 años, se incrementa y puede alcanzar hasta 5 toneladas de semilla seca por hectárea con semillas que contienen según las variedades salvajes no mejoradas que se encuentran en la localidad de Sancti Spíritus entre 20 y 30% de aceite. De estas 5 toneladas 0,8 a 1 toneladas son de aceite y 4.2 toneladas de un subproducto que puede ser vendido como alimento para ganado, una vez destoxificado: 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 2005, año de referencia que toma el estudio, en la actualidad tiene una tendencia a aumentar).

En el documento de tesis se calcula que el costo primarios de producción tomando como referencia los costos estimado en el mercado mundial (es decir, el costo sumado de la mano de obra en Cuba y los insumos agrícolas directos para el país) del litro de biodiesel en el mundo es de 2.64 pesos mexicanos (como valor de referencia, tercera moneda más cotizada en América), 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 como combustibles en comparación con los *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.
- La pasta de las semillas (torta residual) tiene entre 58% y 60% de proteína cruda y aminoácidos esenciales que puede ser vendida como alimento para ganado a un 80% del precio de la pasta de soya.

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

- Semillas: 65%:
 - Aceite: del 20 al 38%.
 - Torta residual: 62%.
- Cáscaras: 35%.

Consultar el esquema de los subproductos y los beneficios de la *Jatropha*. Anexo 5

2.2.3. **Biología de la planta importante para cultivo**

Es una planta perenne, cuya vida productiva se extiende de 45-50 años, es de crecimiento rápido y una altura normal de 2 a 3 metros, en condiciones especiales crece de 5 a 8 metros de altura. La floración en la planta puede presentarse entre uno y dos años, pero en la zona norte de Sinaloa sucede a los ocho meses de que se ha plantado. La producción de semilla se estabiliza a partir del cuarto al quinto año y la formación de sus flores está relacionada con el periodo de lluvias.

El desarrollo del fruto toma entre 60 y 100 días desde la floración hasta la madurez de la semilla. La reproducción de frutos se detiene cuando inicia el periodo de lluvias.

El clima para el cultivo de *Jatropha* 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.

2.3.3. **Estrategia fitotecnica para Cuba**

Siembra

La propagación se realiza mediante semillas y/o esquejes (estacas) en invernadero. La semilla, se recomienda sembrarla en vivero a finales de marzo principios de abril para que se encuentre en condiciones de realizar el trasplante en las primeras lluvias del temporal.

Para propagación de la planta en esqueje (estacas), deben provenir de ramas blandas cuya longitud sea entre 20 y 40 cm y diámetro de 1.0 a 3.0 cm. Se plantan en bolsas de plástico de polietileno transparente 10x20 antes del temporal (2 meses) o bien si es riego goteo o rodado se realiza directamente. Los esquejes pueden plantarse también directamente en el campo cuando las condiciones de éste cultivo son favorables.

La plantación en campo puede realizarse a distancia de 2x2m con una cavidad de 2500 plantas por hectárea o 3x3m para 1098 plantas. En cepas (hoyos) de 30x30 centímetros habrá que controlar la maleza durante el establecimiento de la plantación y el desarrollo inicial de las plantas.

Además de las recomendaciones anteriores se sugiere aplicar estiércol durante el trasplante, en cantidad de 0.25 a 2 kilogramos por plántula seguidos de 20-30 gramos de urea después de 30 días. La aplicación de nitrógeno (urea) propicia la floración. Estas

cantidades no son definitivas, se necesita un análisis de suelo para conocer las propiedades y fertilidad en los suelos.

A esta planta se le puede regar por medio de temporal, riego de goteo y rodado (gravedad), según los medios disponibles para ello. Para el caso de riego por goteo se recomienda mantener el bulbo húmedo o según la necesidad de la planta y para riegos por gravedad, deben aplicarse cada 15 o 20 días durante la época de secas.

La poda se realiza a 35 o 45 cm. de altura, cuando comienza el segundo periodo de lluvia que propicia el desarrollo de las ramas laterales. La poda de formación en árboles adultos se realiza entre marzo y mayo manteniendo una altura adecuada en la planta para facilitar la cosecha.

Enfermedades y plagas de las plantaciones

La *Jatropha toxica* y no *toxicas* es susceptible al hongo pudrición texana (*pimathotrychum omnívora*), que es un hongo que se encuentra en algunos suelos que tienen problemas de drenaje. Y la principal plaga en la *Jatropha no toxicas* es la mosca blanca que se presenta en las primeras etapas de su desarrollo, cuando sus hojas se encuentran muy tiernas.

Para erradicar este problema se hace un control biorracional; se aplica jabón en polvo (foca) en dosis de 200 g por hectárea en 200 litros de agua, control químico con cualquier acaricida sistémico de los existentes. Lo contrario en la planta tóxica que no presenta problemas con mosca blanca, pulgones, chinches, etc.

Cosecha

La primera cosecha se realiza a los 10 meses después haber sido plantada, pero este tiempo de cosecha puede modificarse de acuerdo a la fecha de planteo, condiciones climáticas y tipo de suelo. La cosecha se realiza manual, recogiendo la fruta cuando obtenga una coloración amarilla y no es recomendable esperar a que se encuentre seca la cáscara porque se cae de la planta y se hace difícil su recolección estando esparcida en el suelo.

Se ha proyectado una planta de extracción y obtención de biodiesel en la zona de La Nueva Cuba, Cabaiguán, Sancti Spíritus, Cuba.

CONCLUSIONES

1. La planta de *Jatropha* es un árbol que puede ser destinado para la producción de biodiesel, su cultivo puede ser en condiciones de cerca o setos vivos, lo que puede ser una opción muy viable en la producción de biocombustible al no interferir con la producción de productos agrícolas básicos en suelos destinados para ellos. Todo esto generaría beneficios económicos, principalmente a aquellas zonas donde hay extensas áreas cercadas para potreros.
2. Se estimó que el potencial productivo con los genotipos salvajes no identificados existentes en la provincia de Sancti Spíritus, se estima que es de 873,45 L de aceite de *Jatropha*, al poder producir aproximadamente 3,2 t de semilla, esto equivale a 2550Kg de biodiesel anual.
3. Se propone una estrategia teniendo en cuenta los requerimientos edáficos, climáticos, sanitarios y fitotécnicos del cultivo para la siembra en plantaciones, por las potencialidades de la provincia de Sancti Spíritus para este cultivo.

Recomendaciones

Estudiar los fenotipos existentes y comparar sus potencialidades productivas y toxicidad para incorporarlos a planes de mejoramiento genético.

Inventariar las cercas y setos vivos de localidades no estudiadas de la provincia de Sancti Spíritus y recomendar a partir de nuevos estudio su ordenamiento fitotécnico más eficiente como cerca y como componente agroproductivo en términos de producción de semillas.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdelgadira, H.A; Johnson, S.D y Stadena, J.V. (2008). Approaches to improve seed production of *Jatropha curcas* L. South African Journal of Botany. (Fecha de consulta: abril de 2012)
- Achten, W.M.J. (2008). “*Jatropha* bio-diesel production and use”, Biomass and Bioenergy 32: 1063-1084.
- Andrés Camacho, C., Cosano, I., Pereda, N. (2002) *Manual para la diversificación del paisaje agrario*, Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, Sevilla.
- Azam, M.N.; Waris, A. , Nahar, N.M. (2005). Prospects and potential of fatty acid methyl esters of some non traditional seed oils for use as biodiesel in India. Biomass and Bioenergy. pp29:293.
- Azurdia, C.; Asturias, R.; Barillas, E., Montes, L. Caracterización molecular de las variedades de *Jatropha curcas* con fines de Mejoramiento. Informe final proyecto AGROCIT12-2008.
- Bisse, J. (1988). Árboles de Cuba. Editorial Científico-Técnica. Ciudad de La Habana, Cuba. 154 p.
- Cuevas., J. A. (1988). Recursos Fitogenéticos: Bases para su Estudio y Conservación. Unidad de Estudios Etnobotánicos. Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo, México. 26 p.
- Dhillon, R.S; et al (2006). Clonal propagation and reproductive biology in *Jatropha curcas* L. Indian Journal Agroforestry; 8:18–27.
- *Documento SENER-BID-GTZ. Costos del proceso de producción, según el documento Potenciales y Viabilidad del Uso de Etanol y Biodiesel para el Transporte en México*, publicado por la Secretaría de Energía, el Banco Interamericano de Desarrollo y la *Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit* en el 2012.

- FACT (2009) Manual de *Jatropha* segunda edición, Fundación FACT. Guía técnica.
- Font, F. (2003). Las especies del género *Jatropha* L. (Euphorbiaceae, Crotonoideae) en Argentina. Revista del Círculo de Coleccionistas de Cactus y Crasas de la República Argentina.
- Giraldo Sandra Y., et al. Síntesis de aditivos para biodiésel a partir de modificaciones químicas de la glicerina. Resumen de resultados del estudio WTW a nivel europeo de GM (27 de septiembre de 2002)
- Heller, J. 1996. (***Jatropha curcas* L.**). Promoting the conservation and use of underutilization and neglected crops. Plant Genetics Resources Institute. 161p.
- Henning, R. (2000). Use of *Jatropha curcas* oil as raw material and fuel: an integrated approach to create income and supply energy for rural development. Experiences of the *Jatropha* Project in Mali, West Africa. Presentation at the International Meeting “Renewable Energy – A Vehicle for Local Development - II”. Folkecenter for Renewable Energy, Denmark. Fecha de consulta: mayo de 2011.
- Henning, R. K. (2007). “The *Jatropha* System” Integrated Rural Development by Utilisation of *Jatropha curcas* L. (JCL) as Raw Material and as Renewable Energy. Versión electrónica. 9'www.Jatrophabiodiesel.org. Fecha de consulta: Mayo de 2011.
- Hooda, N. , Rawat, V.R.S. (2005). Role of bioenergy plantations for carbon dioxide mitigation with special reference to India. Disponible en: <http://www.accstrategy.org/simiti/Hooda-Rawat.pdf/> (Fecha de consulta: abril de 2012).
- IIAP. (1999). Cultivo de las plantas medicinales. Piñón blanco. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. [www.congreso.gob.pe/comisiones/1999/ciencia/cd/iiap/iaa_p2/ CapituloIII-35.htm](http://www.congreso.gob.pe/comisiones/1999/ciencia/cd/iiap/iaa_p2/CapituloIII-35.htm). (Fecha de consulta: abril de 2012).
- INIA (2000). Zonas agroecológicas de Mozambique. Instituto de Investigación Agronómica de Mozambique.
- Joker, D. & Jepsen, J. 2003. Seed leaflet. ***Jatropha curcas* L.** 83 p.
- Joker, D. , Jepsen, J. (2003). Seed leaflet. *Jatropha curcas* L. Consulta: mayo de 2012.
- López Montes Rebeca. “Potencial de producción de semilla de *Jatropha curcas* en Sinaloa”. Tesis en opción al grado académico de máster en Ciencias de la tierra,

tutorada por Dr. Norbert Böhnel Harald, Centro de Gociencias, *Uuniversidad Nacional Autónoma de México*, diciembre 2008

- Martínez, J. 2005. El Piñón, una planta nativa de México con potencial alimentario y agroindustrial.
- Nielsen F., De Jongh J. Producción de aceite de *Jatropha curcas* para el desarrollo local en Mozambique "en prensa, presentado para su inclusión en los Debates del ACSS 2009 " Fundación FACT, Holanda.
- Sandín Pérez, J.M. (2009) Los últimos setos vivos de la provincia de León, *Argutorio*, n° 22, pp. 21-25.
- Torres, C. (2007). *Jatropha curcas*: desarrollo fisiológico y técnico. En: Boletín CUBAENERGÍA. Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía. La Habana, Cuba. 7 p. Disponible en: <http://www.cubaenergia.cu/>. Fecha de consulta: mayo de 2012.
- Zamarripa Colmenero A. et al. Guía técnica para la producción de piñón mexicano (*Jatropha curcas* L.) en Chiapas, Folleto Técnico Núm. 26, Noviembre de 2011, ISBN: 978-607-425-664-2, Tuxtla Chico, Chiapas, México.
- Zamarripa, C.A.; et al. (2010) Comportamiento agroindustrial y energético del piñón mexicano (*Jatropha curcas* L.) Resumen en Extenso. VII Reunión Nacional de la Red Mexicana de Bioenergía 2010. Cuernavaca, Morelos, México.
- Zamarripa-Colmenero, A.; et al. (2009). Biocombustibles: perspectivas de producción de biodiesel a partir de *Jatropha curcas* L. en el trópico de México. Folleto Técnico No.12 INIFAP. Campo Experimental Rosario Izapa, Tuxtla Chico, Chiapas, México. 46p

Anexo 1. Descripción biológica de la planta *Jatropha curcas*



Figura a. porte de la planta



Figura



femeninas y hermafroditas

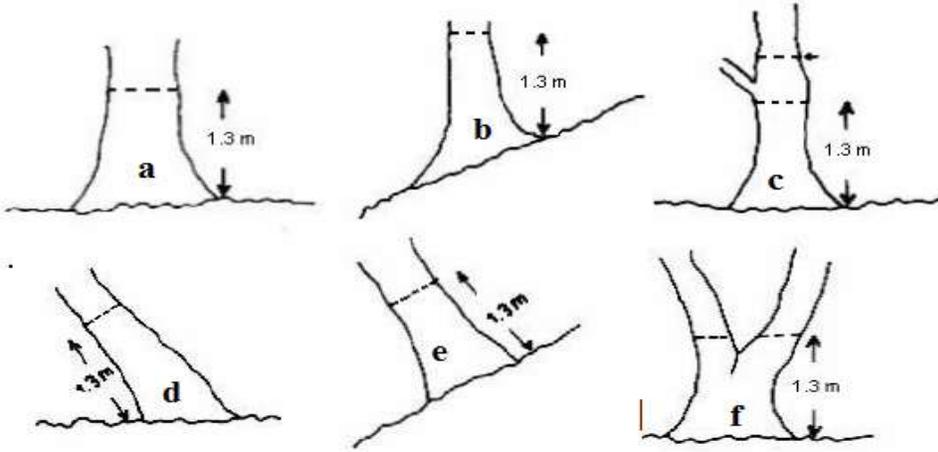
Figura b. flores masculinas,



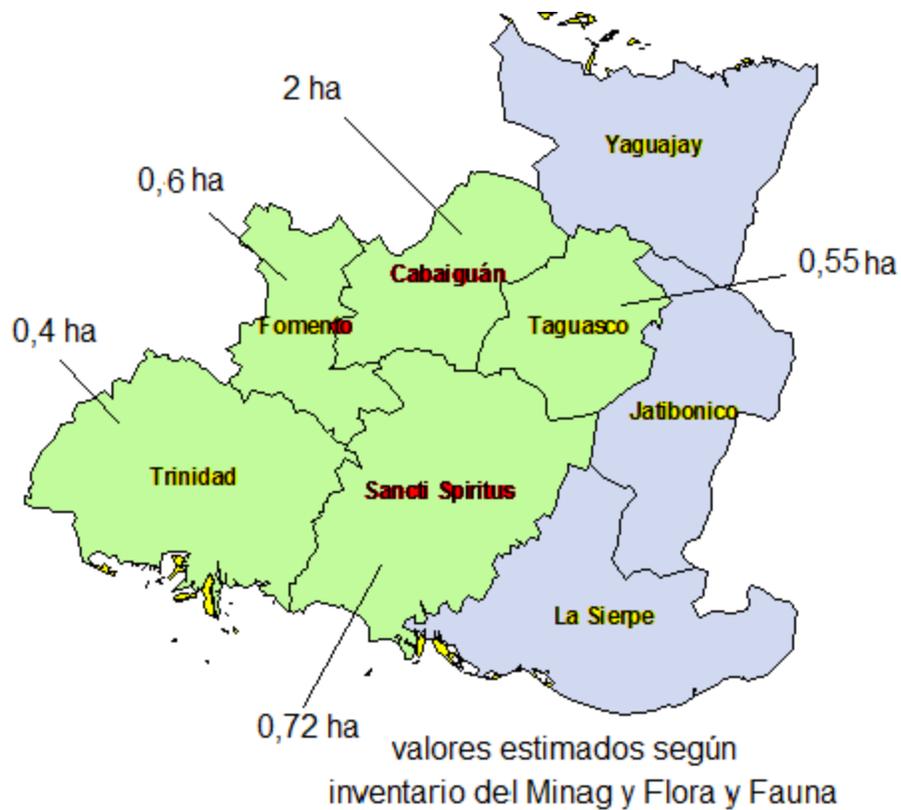
c.

fruto

Anexo 2. Medición del diámetro en árboles deformados



Anexo 4 Potencial productivo de la provincia de Sancti Spíritus en cercas y setos vivos



Anexo 5. Esquema de los subproductos y los beneficios de la Jatropha.

SUBPRODUCTOS Y BENEFICIOS DE LA JATROPHA

