



SAGARPA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA,
GANADERÍA, DESARROLLO RURAL,
PESCA Y ALIMENTACIÓN



AgroIndustria
Bioenergéticos

El cultivo de *Jatropha curcas* L. en el Sureste de México

Carlos Cecilio Góngora Canul

Gregorio Martínez Sebastián

Alberto Uc Vázquez

Guadalupe López Puc

**PAQUETE
TECNOLÓGICO**



Directorio

Dr. Inocencio Higuera Ciapara
DIRECTOR GENERAL DE CIATEJ

Dra. Patricia Ocampo Thomason
DIRECTORA SEDE SURESTE DE CIATEJ

El cultivo de *Jatropha curcas* L. en el Sureste de México

Paquete tecnológico

Los autores agradecen ampliamente a las instituciones:

De manera muy especial al Fondo sectorial Sagarpa-Conacyt por el financiamiento otorgado al proyecto “Mejoramiento genético de *Jatropha* para generar al menos una variedad con alto rendimiento agronómico, alto contenido de aceite y baja toxicidad para la obtención de biodiésel 2011-05 163502”.

También, al Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco AC, institución líder que ha permitido llevar a cabo el proyecto 2011-05 163502, en sus instalaciones.

Además, a Agroindustria Alternativa del Sureste SPR de RL de CV con marca comercial Jatronergy (Grupo Lodemo) por su valiosa colaboración, contribuyendo con planear, establecer experimentos; coleccionar, analizar datos, y transferir los resultados de los múltiples experimentos sobre mejoramiento genético, agronomía y biotecnología a los usuarios y clientes potenciales.

El cultivo de *Jatropha curcas* L. en el Sureste de México

Paquete tecnológico

Góngora Canul Carlos Cecilio
Martínez Sebastián Gregorio
Uc Várquez Alberto
López Puc Guadalupe

2018
Mérida, Yucatán, México



El cultivo de *Jaropha curcas* L. en el Sureste de México
Paquete tecnológico

Góngora Canul Carlos Cecilio
Martínez Sebastián Gregorio
Uc Vázquez Alberto
López Puc Guadalupe

D.R. ©Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco
(CIATEJ), 2018

Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra, por cualquier medio, sin permiso por escrito del titular de los derechos.

ISBN: 978-607-97894-5-9

Cuidado de edición y revisión ortotipográfica
Alejandrina Garza de León

Diseño editorial, de cubierta, infografía, gráficos y formación
Paola Marfil Lara

Editado en Mérida-México

Acerca de los autores

Carlos Cecilio Góngora Canul y Gregorio Martínez Sebastián

Investigadores de Agroindustria Alternativa del Sureste S.P.R. de R.L. de C.V. Calle 60 Diagonal, Núm. 490 Depto. 6. Parque Industrial Yucatán. Mérida, Yucatán, México. CP 97300. Tel. 01 999 942 2100

Alberto Uc Vázquez y Guadalupe López Puc

Investigadores del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C., Sede Sureste. Parque Científico y Tecnológico de Yucatán. Tablaje catastral 31264, km 5.5 carretera Sierra Papacal-Chuburná Puerto. CP 97302. Tel. 01 999 9202671



Presentación

Jatropha curcas L. crece bajo entornos tropicales y subtropicales en condiciones de sequía y baja fertilidad del suelo. Dada su capacidad para crecer en suelos poco fértiles, permite la recuperación de tierras y la restauración de áreas erosionadas. El interés actual en el fruto de esta planta originaria de Mesoamérica, se debe a su potencial como cultivo energético. De sus semillas se puede extraer aceite con buenas características para la producción de biodiésel, bioturbosina y poliuretano, y del resto del fruto se pueden obtener subproductos dando valor agregado al cultivo. Otros usos son para la fabricación de jabón y la extracción de glicerina con fines industriales.

El cultivo ha despertado interés en el ámbito mundial en los últimos años. En México, *Jatropha curcas* L se encuentra principalmente en los estados de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Yucatán, Quintana Roo, Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Sinaloa, Sonora, Puebla, Hidalgo y Morelos. En diversas publicaciones se indica que solo en México hay variedades no tóxicas.

El interés por el cultivo comercial de *J. curcas* inició en México en la primera década del siglo XXI, como parte de la creciente demanda de fuentes de biocombustibles, que no compitieran con cultivos de importancia para la seguridad alimentaria. Teniendo en cuenta lo anterior, *J. curcas* resultó ser un excelente candidato, ya que no se utiliza como alimento humano o forrajero. Además, el biodiésel que se obtiene de las semillas posee las características requeridas para el funcionamiento de los motores de combustión, aunado a que su uso genera menos contaminación al ambiente en comparación con los combustibles fósiles. Derivado de la falta de conocimiento en el cultivo, así como de las variedades, se dio paso a la investigación, encaminada al inicio de la domesticación de la especie. Por lo anterior, en el periodo de 2012-2018 se trabajó de forma conjunta entre el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. (CIATEJ) y la empresa Agroindustria Alternativa del Sureste (Jatronergy del grupo Lodemo), resultando en la integración de un paquete tecnológico en la región de Tizimín, Yucatán, México, mismo que fue validado en las localidades de Sierra Papacal en Mérida, Yucatán; Hecelchakán, Campeche y Emiliano Zapata, Tabasco, México. El objetivo principal de este documento generado con el apoyo del Fondo sectorial Sagarpa-Conacyt es proporcionar una guía técnica para el cultivo de *Jatropha* en la región Sureste de México y así poder contribuir al establecimiento de plantaciones productivas y sustentables en beneficio del sector energético de México y el mundo.

Dr. Inocencio Higuera Ciapara
Director General del CIATEJ



Introducción	13
1 Características generales de <i>J. curcas</i>	17
1.1. Taxonomía	17
1.2. Morfología	17
1.3. Distribución	19
1.4. Usos y propiedades	19
2 Requerimientos agroecológicos	21
2.1. Precipitación	21
2.2. Temperatura	21
2.3. Altitud	21
2.4. Humedad	21
2.5. Luminosidad	21
2.6. Suelo	22
3 Vivero	23
3.1. Recursos requeridos en un vivero	23
3.2. Producción de planta por semilla	23
3.2.1 Germinación y trasplante a bolsa	24
3.2.2 Sustrato y llenado de bolsas	25
3.2.3 Crecimiento de planta en vivero	26
3.2.4 Preparación de planta para plantar y salida de vivero	26
3.2.5 Calidad de planta por semilla	27
3.3. Producción de planta por estaca	28
3.3.1 Obtención de estacas	28
3.3.2 Colocación de estacas en bolsa	29
3.3.3 Crecimiento de planta en vivero	30

3.3.4 Preparación de planta para plantar y salida de vivero	31
3.3.5 Calidad de planta por estaca	31

4 Establecimiento de plantaciones de *J. curcas*

4.1. Selección del terreno	33
4.2. Preparación del suelo	33
4.2.1 Chapeo	33
4.2.2 Barbecho	34
4.2.3 Rastreo	34
4.3. Densidad de plantación	35
4.4. Trazo de plantación	36
4.5. Plantación con estacas	36
4.5.1 Obtención de estacas	37
4.5.2 Embalaje de estacas	37
4.5.3 Traslado de estacas	37
4.5.4 Plantación de estacas	38
4.6. Plantación de plantas de vivero con cepellón	39
4.6.1 Apertura de cepas o pocetas	39
4.6.2 Recepción de plantas de vivero	40
4.6.3 Traslado de planta	40
4.6.4 Establecimiento de plantas con cepellón	40
4.7. Siembra directa de semilla	41
4.8. Variedades	42
<i>Jatropha curcas</i> ALJCH01	44
<i>Jatropha curcas</i> ALJCH03	45
<i>Jatropha curcas</i> var. ALJC01®	46
<i>Jatropha curcas</i> Sikilte	47
<i>Jatropha curcas</i> Ochkan	48
4.9. Control de malezas	49
4.9.1 Control manual	49
4.9.2 Control químico	49
4.10. Riego	50

4.11. Fertilización	51
4.12. Podas	53
4.13. Control de plagas y enfermedades	54
5 Producción	57
5.1. Floración y producción	57
5.2. Cosecha	58
5.2.1 Monitoreo de producción	59
5.2.2 Definición de áreas para cosecha	59
5.2.3 Cosecha manual	59
5.2.4 Llenado de costales	60
5.2.5 Traslado de costales con fruto a centro de acopio	60
5.3. Manejo poscosecha: despulpado, secado y almacenaje de grano	61
5.3.1 Recepción de frutos en centro de acopio	61
5.3.2 Secado de frutos	61
5.3.3 Despulpado o extracción de semillas	62
5.3.4 Secado de grano	62
5.3.5 Almacenaje de grano	62
5.3.6 Disposición de cáscara de frutos	62
Literatura consultada	65



Introducción

J. curcas L. crece bajo entorno tropicales y subtropicales, y puede soportar condiciones de sequía y baja fertilidad del suelo; debido a que es capaz de crecer en suelos de baja fertilidad, puede ayudar a la recuperación de tierras y restauración de áreas erosionadas y aumentar la fuente de empleo en estas regiones. Además, como no se utiliza como alimento humano o forrajero, no compromete la seguridad alimentaria. El interés actual se debe primordialmente a su potencial como cultivo energético. A partir de las semillas se puede extraer aceite con buenas características para la producción de biodiésel y el resto del fruto se puede obtener subproductos que le dan mayor valor agregado (Teniente *et al.*, 2011; Díaz-Fuentes *et al.*, 2015).

Considerando el potencial de esta planta y siguiendo una tendencia global de buscar fuentes de energías amigables con el ambiente, se creó en 2007 la empresa Agroindustria Alternativa del Sureste (actualmente Jatronergy, como marca) como parte de Grupo Lodemo con el objeto de producir aceite y subproductos de *J. curcas* e integrarlos a la cadena de valor como bioenergéticos; el enfoque de la empresa desde 2013 fue el desarrollo de variedades híbridas de alto rendimiento mediante el mejoramiento genético por procesos tradicionales de autopolinización en la generación de líneas endogámicas y mediante generación de líneas a través de dobles haploides.

Como parte del proyecto Sagarpa-Conacyt 163502 (Mejoramiento genético de *J. curcas* para generar al menos una variedad con alto rendimiento agronómico, alto contenido de aceite y baja toxicidad para la producción de biodiésel) que desarrollan en conjunto CIATEJ y Agroindustria Alternativa del Sureste, se integra el presente paquete tecnológico desarrollado por la empresa en la región de Tizimín, Yucatán, y validado en las localidades de: Mérida, Yucatán; Hecelchakán, Campeche y Emiliano Zapata, Tabasco, con el objetivo de que sirva de guía técnica para el cultivo de *J. curcas* en la región sureste y contribuya a contar con plantaciones productivas y sustentables.

El paquete tecnológico es el resultado de la investigación y desarrollo del programa de mejoramiento genético de la empresa y de experimentos agronómicos específicos como: densidad de plantación, fertilización, riego, control de plagas y enfermedades, asociación de cultivos, entre otros, y la experiencia del personal técnico operativo de la empresa.



1 | Características generales de *J. curcas*

J. curcas es una especie perenne, monoica; pertenece a la familia de las Euphorbiaceae, nativa de México y Centroamérica, ampliamente cultivada en Centroamérica, África y Asia.

El látex de sus hojas se ha utilizado en medicina tradicional. Es común que en los ranchos se utilice como cerca viva, así como también se utiliza para reforestar en zonas erosionadas (Makkar *et al.*, 1998; Martínez *et al.*, 2006).

1.1. Taxonomía

Reino: Plantae
Filo/división: Magnoliophyta
Clase: Magnoliopsida
Orden: Euphorbiales
Familia: Euphorbiaceae
Género: *Jatropha*
Nombre científico: *J. curcas* L.

1.2. Morfología

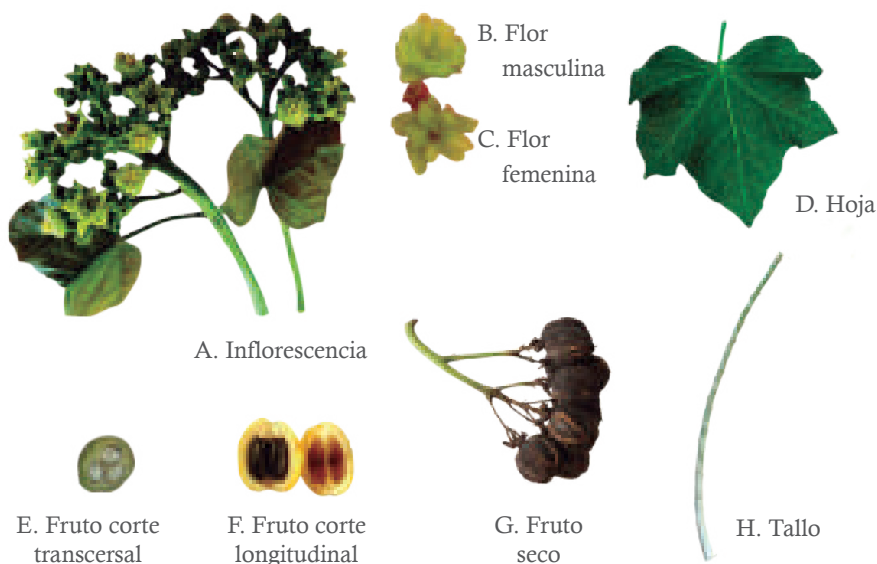


Figura 1.
Partes importantes
de *J. curcas*.

J. curcas es un arbusto o árbol de 2 a 6 m de altura con corteza blanco-grisácea, casi lisa, con desprendimientos en tiras horizontales, fuste ramificado a poca altura, de copa ancha e irregular, que exuda un látex translúcido. Tiene una vida productiva de 30 a 40 años. Es monoica: con presencia de flores masculinas y femeninas en la misma planta, aunque pueden presentar plantas dioicas o plantas con flores hermafroditas. Las frutas crecen al final de las ramas en racimos de 5-20 unidades. Cada fruta contiene 3 semillas, aunque algunas veces se pueden encontrar de 2 a 5 semillas en un solo fruto.

Tallo: Los tallos crecen con una discontinuidad morfológica en cada incremento, es un cilindro verde robusto que produce ramas con savia láctea o rojiza viscosa.

Raíz: Las plantas que provienen de semilla muestran cuatro raíces laterales, equidistantes entre sí y una al centro que es persistente, bien desarrollada e invariablemente se convierte en carnosa, crece bastante profundo y forma la raíz pivotante.

Hoja: Las hojas se forman normalmente con 5 a 7 lóbulos acuminados poco profundos y grandes. Tienen pecíolos largos con una longitud de 10 a 15 centímetros y anchura de 9 a 15 centímetros, ovadas y se colocan de forma alterna a subalterno opuesto con una filotaxis espiral y se caen durante la época seca. Son hojas anchamente ovadas, abiertamente cordadas en la base, con 5 nervaduras y pubescentes en las nervaduras del envés. Sin embargo, en colecciones realizadas se encontraron materiales con una marcada variación en la forma de la hoja, así como diferencias en cuanto a la retención de la hoja.

Flor: Las inflorescencias se forman terminalmente en el axial de las hojas en las ramas. Se colocan diez estambres en dos espirales de 5 cada uno, en una sola columna en el androceo y en la proximidad íntima.

En el gineceo, los 3 estilos delgados son conatos que están aproximadamente a dos tercios de su longitud, dilatando al estigma bifurcado. Ambas flores, masculinas y femeninas, son pequeñas (6-8 mm), verdoso-amarillo y pubescentes. Los pétalos son de 6 a 7 mm largo. La longitud del pecíolo va entre 6-23 mm. Las flores femeninas presentan brácteas acuminadas y las masculinas presentan brácteas ovadas y pedicelos pubescentes.

La planta de *J. curcas* generalmente emite flores femeninas y masculinas en la misma planta (monoicas), sin embargo, algunas plantas solo producen flores femeninas y por otro lado algunas flores son hermafroditas.

Fruto: Son cápsulas drupáceas y ovoides, después de la polinización se forma una fruta trilocular de forma elipsoidal.

Las frutas son cápsulas inicialmente verdes desde que se forman hasta que inicia su maduración. Las cápsulas de los frutos son de 2.5 a 4 centímetros de largo por 2 centímetros de ancho, elipsoidales y lisas, que cuando maduran van cambiando a amarillas y posteriormente a café oscuro. Puede producir varias cosechas durante el año si la humedad del suelo es bueno y las temperaturas oscilan (25 a 33 °C). Cada inflorescencia produce un racimo de 10 frutos o más. El desarrollo del fruto necesita de 60 a 90 días desde la floración hasta que madura.

Semilla: La fruta produce tres almendras negras, cada una aproximadamente de dos centímetros de largo y un centímetro de diámetro, las dimensiones de las semillas varían entre plantas de diferente procedencia e incluso en ocasiones las provenientes de una misma planta. Los rangos de peso de las semilla varían entre los 0.50 y 0.90 gramos cada una, con un promedio de 1,333 semillas por kilogramo. La semilla es cosechada cuando la cápsula está madura (fruto color amarillo o café).

Las semillas contienen distintos componentes tóxicos (ésteres de forbol, curcinas, inhibidores de tripsina, lectinas y fitatos) y generalmente no son comestibles. Las semillas consisten en una cáscara dura (testa) que representa alrededor del 37% en peso total y un grano blanco (pepita) y suave al interior que representa el 63% restante. Las semillas secas tienen un contenido de humedad de alrededor del 7% y contienen un rango de 32 a 40% de aceite.

1.3. Distribución

En México, la planta se encuentra en forma silvestre en diversas entidades federativas de la República Mexicana, como Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Yucatán, Quintana Roo, Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Sinaloa, Sonora, Puebla, Hidalgo y Morelos, pero solo es utilizada de manera tradicional por los pobladores de la región de Papantla, Veracruz, la Huasteca Hidalguense y la Sierra de Puebla.

1.4. Usos y propiedades

Los registros históricos muestran que *J. curcas* fue utilizada por las culturas prehispánicas de México y Centroamérica y quizás América del Sur en la medicina herbaria.

Las semillas de *J. curcas* poseen de 32-40% de aceite que puede ser convertido a biodiésel mediante transesterificación de los ácidos grasos. La conveniencia de conversión del aceite de *J. curcas* a biodiésel ha sido claramente demostrada por diversos investigadores. Con rendimientos superiores al 98% (Foidl *et al.*, 1996; Francis *et al.*, 2005; Trabucco *et al.*, 2010; Tiwari *et al.*, 2007). Actualmente, el aceite se está evaluando en la producción de poliuretano (Hawkins, 2017).

Perfil de ácidos grasos del aceite de *J. curcas* de Morelos, México (Martínez *et al.*, 2006)

Ácido graso	(%)
Oleico	41-42
Linoleico	42-44
Palmítico	9-11
Esteárico	2-3
Mirístico	0.3-0.4
Palmitoleico	0.3-0.4

2 | Requerimientos agroecológicos

2.1. Precipitación

El clima para el cultivo de *J. curcas* debe de ser tropical o subtropical; en la actualidad crece en áreas tropicales de todo el mundo, con una precipitación pluvial desde 300 hasta 1500 mm anuales de lluvia.

2.2. Temperatura

La temperatura media óptima para el cultivo de *J. curcas* es de 18 a 24 °C, el potencial medio para los ambientes de 11 a 18 y 28 a 32 °C. Puede soportar heladas leves de corta duración y temperaturas máximas mayores a 40 °C.

2.3. Altitud

Se desarrolla en altitudes sobre el nivel del mar preferentemente y hasta 1,500 metros sobre el nivel del mar.

2.4. Humedad

J. curcas no tolera periodos largos con exceso de humedad (máximo una semana, que incluso ya representaría un impacto negativo sobre la producción). Resiste largos periodos de sequía, hasta un año sin precipitaciones cuando la planta se encuentra establecida. Pero cuando se inicia su establecimiento los primeros meses es muy sensible a la falta de humedad en el suelo, primero se defolia, después se estrangulan los tallos y posteriormente muere en temporada de verano (en periodo de tres semanas sin humedad en el suelo).

2.5. Luminosidad

Requiere luminosidad para un óptimo desarrollo, el sombreo reduce crecimiento y fructificación, cuando se cultiva asociado con otros cultivos es importante que el otro cultivo no supere su altura para evitar que cause sombra a la planta de *J. curcas*.

2.6. Suelo

J. curcas prefiere suelos con buen drenaje, aireados. Los suelos más adecuados son los de textura media (francos), franco arenoso y franco limoso por tener un buen drenaje y suministro de nutrientes.

Los suelos de textura fina (arcillosos) solo son adecuados en condiciones con baja precipitación y adecuada pendiente, en este caso la planta de *J. curcas* puede ser muy productiva, porque estos suelos cuentan con un buen suministro de nutrientes, pero deficiente drenaje. Considerando que la *J. curcas* no tolera el exceso de humedad en el suelo, la producción en suelos de textura arcillosa es solamente adecuada en el caso que no exista saturación de humedad por periodos largos (máximo una semana).

Por otra parte, los suelos de textura gruesa (arena, franco arenoso, arena franca) drenan rápidamente, pero requieren de mayor frecuencia de agua. Estos suelos por lo general tienen un contenido bajo en nutrientes, por lo que necesitará más fertilización para mantener su productividad.

El pH del suelo adecuado para el cultivo de *J. curcas* es entre 5.5 y 8.5. Su crecimiento es limitado en condiciones de mayor acidez o alcalinidad. *J. curcas* puede sobrevivir en suelos poco profundos, con bajo contenido de nutrientes, salinidad y humedad limitada, sin embargo, su crecimiento y producción serán menores. Los mayores niveles de nutrientes y materia orgánica en el suelo se traducen en una mayor producción.

3 | Vivero

El vivero es un conjunto de instalaciones que tiene como propósito fundamental la producción de plantas. Constituye el mejor medio para seleccionar, producir y propagar masivamente especies útiles al hombre.

La producción de plantas en vivero permite prevenir y controlar los efectos de las plagas y de enfermedades que dañan a las plántulas en su etapa de mayor vulnerabilidad, gracias a que se les proporcionan las condiciones propicias para lograr un buen desarrollo, las plantas tienen mayores probabilidades de sobrevivencia y adaptación cuando se les trasplanta a su lugar definitivo.

La producción de plantas debe realizarse en función de las necesidades de superficie a plantar y/o metas de producción comprometidas para proyectos específicos.

3.1. Recursos requeridos en un vivero

- › Terreno plano
- › Disponibilidad de agua
- › Sustrato: peat moss, tierra, estiércol de bovino composteado
- › Bolsa de polietileno negra de 10 x 20 cm (puede cambiar el tamaño con base en el diámetro de la estaca o tamaño de la plántula)
- › Huacales de plástico
- › Bolsa negra para basura
- › Tijeras de poda, machete, pala, bitácora
- › Material vegetal: semillas, esquejes, estacas

Las plantas de *J. curcas* se pueden producir por semillas o asexualmente por estacas y esquejes.

A continuación se describen los procesos de producción de cada sistema.

3.2. Producción de planta por semilla

El proceso de producción de plantas por semilla en vivero se esquematiza en la Figura 2.



Figura 2.
Esquema de proceso
de producción de planta
por semilla.

3.2.1 Germinación y trasplante a bolsa (Figura 3)

- › Colocar 5 cm de peat moss en huacal y humedecer a capacidad de campo.
- › Colocar semillas sobre el sustrato y tapar con una capa de 1 cm de peat moss.
- › Colocar el huacal dentro de la bolsa negra y sellar. Dejarla en sombra.
- › Revisar los huacales con semillas en germinación a partir del 5° día y separar las semillas que han emitido raíz y trasplantarlas a las bolsas de polietileno.
- › Mantener la humedad del sustrato; después de sacar las semillas pre-germinadas, regar con regadera manual el sustrato para mantener la humedad únicamente.
- › Repetir la búsqueda de semillas germinadas diariamente hasta el día 15 o antes si todas las semillas ya han germinado.



Figura 3.
Pregerminación de semillas
de *J. curcas*. A) Llenado
de cajas de germinación
con sustrato y siembra de
semilla en compartimentos
(7 x 7 cm); B) Cajas
cubiertas con bolsas
negras de plástico para
germinación; C) Plántulas
en compartimentos
diferenciando materiales
genéticos, y D) Plántula
germinada para trasplantar
a bolsas de plástico.

3.2.2 Sustrato y llenado de bolsas (Figura 4)

- › Recolectar suelo en áreas cercanas al vivero con apoyo de herramientas como palas y picos y trasladar el suelo al vivero en carretilla o remolque de tractor agrícola.
- › Adquirir estiércol composteado de bovinos de ranchos cercanos al vivero (estiércol depositado en bancos por más de un año).
- › Cernir el suelo y estiércol en criba de 0.5 a 1.0 cm.
- › Mezclar el suelo con el estiércol en proporciones de 70% tierra y 30% composta.
- › Llenar las bolsas de siembra con 1.5 kg de sustrato aproximadamente, dejando 1 cm de espacio en el límite superior de la bolsa.
- › Acomodar las bolsas en bandas de 1.2 m de ancho y de 20 m de longitud máximo. Dejar pasillos de 1 m entre cada banda.
- › Aplicar solución desinfectante a las bolsas con sustrato 2 días antes de trasplante de semillas pregerminadas.
- › Regar las bolsas (llenas de sustrato) a capacidad de campo antes de trasplantar las semillas pregerminadas.



Figura 4.
Preparación de sustrato.
A) Cernidor para suelo de 0.5 cm; B) Sustrato preparado con suelo cernido (70%) y sacos de composta de estiércol de ganado (30%); C) Mojado y exprimido de sustrato peat most, y D) Sustrato a capacidad de campo.

3.2.3 Crecimiento de planta en vivero (para el caso de semilla pregerminada)

Esta fase implica el mantenimiento de la planta desde que se trasplanta como semilla pregerminada hasta la salida de la planta del vivero (Figura 5).

- › Colocar malla sombra a las plantas en banda durante los primeros 20 días.
- › Mantener la humedad del sustrato de las bolsas a capacidad de campo mediante riegos con regadera adaptada a manguera.
- › Aplicar fertilizante en drench, una vez por semana, de una fórmula compuesta de macros y micronutrientes con alto contenido de fósforo para fortalecer sistema de raíces.
- › Realizar monitoreo continuo de plagas y enfermedades en plántulas de vivero para aplicar en forma oportuna el manejo integral de acuerdo con la *Guía de plagas y enfermedades* (Uc-Vázquez *et al.*, 2018).



Figura 5.
Crecimiento de plantas de *J. curcas* en vivero. A) Casa sombra donde se mantienen las plantas en bolsa; B) Plantas provenientes de semilla o estacas; C) Plantas de 20 días de edad, adecuadas para continuar crecimiento sin malla sombra.

3.2.4 Preparación de planta para plantar y salida de vivero (para plantas por semilla)

Las plantas por semilla generalmente alcanzan tamaño y vigor adecuados para plantar después de 6 a 8 semanas.

- › Dos semanas antes de trasplante en campo, la planta de vivero se debe regar en menor cantidad y periodicidad para realizar un efecto de rustificación (lignificación de tallos) de la planta.
- › Colocar las plantas con su cepellón, dentro de huacales de plástico, para facilitar su traslado al sitio de plantación.
- › El día anterior a la salida de plantas, aplicar solución de fungicida e insecticida como tratamiento preventivo.
- › El día de la salida de plantas, aplicarles riego pesado para que resistan el estrés de transporte y plantación.

3.2.5 Calidad de planta por semilla

La planta proveniente de la germinación de semilla lista para salir del vivero debe tener 1 cm de diámetro en el cuello como mínimo, de 30 a 50 cm de altura, sin presencia de plagas o enfermedades y con base del tallo lignificado (cambio de color de verde a corteza ligeramente blanca).

Mediante este método se obtiene más de 90% de eficiencia, considerando semillas con germinación mayor a este porcentaje.



Figura 6.
Plantas de *J. curcas*
provenientes de semilla
y con tamaño adecuado
para llevar a plantación.

3.3. Producción de planta por estaca

La producción de plantas por estacas es un método asexual que permite clonar a plantas seleccionadas por características de interés como productividad, resistencia o tolerancia a enfermedades, mantener a la planta original para fines de investigación y/o conservación, entre otras. Con este método se obtiene en promedio el 80% de enraizamiento. El procedimiento para producir plantas mediante este método es el siguiente (Figura 7):



Figura 7.
Esquema de proceso
de producción de planta
por estaca.

3.3.1 Obtención de estacas

La propagación por estacas de *J. curcas* se realiza en el periodo de sequía (ya que en el verano la humedad propicia mayor incidencia de pudrición de pie y de raíz, por lo que el porcentaje de enraizamiento es menor a 50%) (Figuras 8 y 9).

Se deben seleccionar ramas de los materiales genéticos que se requieren propagar, que sean del ciclo de crecimiento anterior que presentan lignificación. Las ramas de color verde son brotes nuevos que se deshidratan fácilmente al cortarse.

- › Si las ramas tienen hojas, quitar las hojas (deshojar) al menos un día antes de cortar la rama a estaquear.
- › Cortar ramas de al menos 1.5 cm de diámetro en la base para la propagación.
- › Dimensionar la rama en 25 cm de longitud y hacer rollos de hasta 50 estacas y envolver en periódico para su traslado al vivero. Con estacas de menor longitud disminuye el porcentaje de enraizamiento por deshidratación principalmente.
- › Trasladar las estacas al vivero, colocándolas en espacios con sombra.

3.3.2 Colocación de estacas en bolsa

- › Preparar las bolsas de polietileno con sustrato, como se describe en la producción de planta por semilla, y humedecer el sustrato a capacidad de campo.
- › Hacer huecos en el centro de la bolsa de 5 cm de profundidad y de 2 cm de diámetro (Figura 8a).
- › Colocar una estaca en el centro de la bolsa, enterrándola de 5 a 7 cm de profundidad y apretando la base para que la estaca no tenga movimiento.



Figura 8.
Parte del proceso de propagación por estacas.
A) Ramas provenientes de campo correctamente identificados, el diámetro mínimo para obtener una estaca es de hasta 1.5 cm;
B) Corte óptimo de una estaca, horizontal en la base y diagonal en la parte superior, y
C) Diferentes longitudes de estacas 15, 20 y 25 cm, el óptimo es de 25 cm.



Figura 9.
Parte del proceso de propagación de *J. curcas* por estacas. A) Siembra de estaca a profundidad de 5 cm; B), C) y D) Tratamiento de la base de la estaca con fungicida, y E) Siembra de la estaca en la bolsa presionando en la base.

3.3.3 Crecimiento de planta en vivero (para el caso de siembra de estaca)

Esta fase implica el mantenimiento de la planta desde que se coloca la estaca en la bolsa, hasta la salida de la planta del vivero.

- › Colocar malla sombra a las bandas de planta durante las primeras tres semanas.
- › Iniciar riego de plantas hasta que las estacas tengan brotes vegetativos de 5 cm en promedio (3 a 4 semanas). A partir de esta fecha, mantener la humedad del sustrato de las bolsas a capacidad de campo mediante riegos con regadera adaptada a una manguera.
- › Aplicar fertilizante en drench una vez por semana (a partir de la fecha en que se inicien los riegos continuos) de una fórmula compuesta de macros y micronutrientes con alto contenido de fósforo para fortalecer sistema de raíces.
- › Realizar monitoreo continuo de plagas y enfermedades y en caso necesario aplicar oportunamente control integral, como se indica en la *Guía de plagas y enfermedades* (obra citada).

3.3.4 Preparación de planta para plantar y salida de vivero (para plantas por estaca)

Las plantas por estaca alcanzan tamaño y vigor adecuadas para plantar en campo entre 8 y 10 semanas.

- › Dos semanas antes de llevarse a plantar, se debe regar en menor cantidad y periodicidad para realizar un efecto de rustificación (lignificación de tallos) de la planta.
- › Colocar las plantas con su cepellón, dentro de huacales de plástico para facilitar su traslado al sitio de plantación.
- › El día anterior a la salida de plantas, aplicar solución de fungicida e insecticida como tratamiento preventivo.
- › El día de la salida de plantas, aplicarles riego pesado para que resistan el estrés de transporte y plantación.

3.3.5 Calidad de planta por estaca

Las plantas obtenidas por estacas listas para plantarse en campo, deben tener brotes vigorosos con al menos 10 cm de longitud, lo que implica de 30 a 50 cm de altura total de la planta, sin presencia de plagas o enfermedades y con un sistema de raíces fortalecido que mantiene compacto el cepellón al quitar la bolsa (Figura 10).



Figura 10.
Etapas de enraizamiento
de estacas. A) Estacas
sembradas en bloques;
B) Estacas identificadas;
C) Estacas con brotación,
y D) Estacas con brotes
vigorosos, listos para
trasplantar en campo.

4 | Establecimiento de plantaciones de *J. curcas*

4.1. Selección del terreno

De acuerdo con los artículos 55 y 56 del Reglamento de la Ley de Promoción de Bioenergéticos, la producción debe hacerse en terrenos agropecuarios marginales utilizando prácticas de conservación de los suelos y no podrán desarrollarse en áreas con vegetación natural en donde existan especies de flora y fauna endémicas, amenazadas, en peligro de extinción o sujetas a protección especial o áreas naturales protegidas.

Para el establecimiento de la plantación se deben seleccionar terrenos con pendiente menor del 12%, que no permanezcan inundados por mucho tiempo, de fácil accesibilidad y ubicados en regiones identificadas con alto o mediano potencial productivo para *J. curcas*, conforme el mapeo realizado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Una vez definido el predio, rancho o parcela a plantar, realizar reconocimiento y mapeo con GPS del predio, delimitando las áreas a plantar (áreas con vegetación secundaria conocidos como acahuals o terrenos limpios), caminos, límites de la propiedad y demás infraestructura.

Posterior al mapeo, planear la infraestructura de caminos de toda el área cultivable, considerando que se requerirán brechas para extraer la cosecha y realizar mantenimiento a la plantación. Se sugieren brechas de 6 m de ancho delimitando cada hectárea a plantar.

4.2. Preparación del suelo

En las áreas definidas para plantar, realizar las actividades de acuerdo con el siguiente proceso (Figura 11):

4.2.1 Chapeo

Realizar chapeo de maleza al menos un mes antes de la siembra, cortando la maleza anual y retoños, y dejar esparcida la biomasa para su integración al suelo. Se puede

realizar manualmente de forma tradicional, con machete, o con tractor agrícola con desvaradora, en función de la superficie y disponibilidad de personal y equipo.

4.2.2 Barbecho

Se realiza en suelos donde existe una capa compactada por uso agrícola o ganadera y donde los suelos tengan una profundidad mayor a 50 cm. Consiste en arar el suelo para remover de 25 a 30 centímetros la capa superficial. Tiene como objetivo mejorar sus condiciones físicas además de incorporar los residuos vegetales existentes.

4.2.3 Rastro

Se realiza para remover la capa superficial del suelo, para facilitar un mejor desarrollo de las raíces de las plántulas que se establecerán. También permite que el suelo retenga por más tiempo la humedad. Se realiza con la rastra accionada por tractor agrícola. Dependiendo de la textura del suelo, se pueden realizar uno o dos pasos de rastra. Puede realizarse en suelos donde se ha hecho el barbecho o directamente en suelos sin barbechar y donde la pedregosidad del suelo lo permita.



Figura 11. Preparación del suelo. a) Control químico de malezas; b) Chapeo mecanizado con desvaradora; c) Paso de barbecho, y d) Terreno con paso de rastra.

4.3. Densidad de plantación

Uno de los elementos que más influyen en los rendimientos agrícolas, lo constituye la cantidad de plantas por hectárea o la densidad de plantación. Todos los cultivos requieren una densidad óptima, determinada por el área necesaria para un adecuado desarrollo de cada planta. Si esta área resulta insuficiente, ocurre el fenómeno de competencia entre las plantas por los elementos esenciales en el suelo para su desarrollo: nutrientes, agua y luz, lo que disminuye la productividad. Por otro lado, al establecer bajo número de plantas los recursos son subutilizados por el cultivo, de ahí la importancia de optimizar la cantidad de plantas a establecer por unidad de superficie.

La densidad de siembra de *J. curcas* depende de la altura promedio y del porte o hábito de crecimiento (erguido, semierguido o abierto), de la variedad a establecer; en el Cuadro 1 se presenta información de densidad óptima de siembra para las variedades de Jatronergy.

Los arreglos topológicos (espaciamientos) más utilizados son 3 m x 2 m (1,667 plantas/ha) y 3 m x 1.5 m (2,222 plantas/ha). Sin embargo, se han evaluado densidades de siembra mayores a 5,000 plantas por hectárea en plantas de porte bajo y espaciamientos de 4 m x 1.5 m en asociación de cultivos de *J. curcas*-maíz para permitir el paso de la sembradora de maíz.

Cuadro 1. Densidad de siembra de 4 variedades de *J. curcas* de Jatronergy

Variedad	Altura de planta (m)	Porte	Espaciamiento (m)	Densidad (plantas por hectárea)
ALJC01®	2.10	Abierto	3x1.5	2,222
ALJCH01	2.03	Semierguido	3x1.5	2,222
Sikilte	1.91	Semierguido	3x1.8	1,852
Kanolol	1.75	Semierguido	2x1.5	3,333

4.4. Trazo de plantación

Una vez definida la densidad de siembra y arreglo topológicos:

- › Delimitar áreas de una hectárea (100 m x 100 m), separándolas con límites naturales o dejando brechas de 6 metros que se requieren para sacar la cosecha.
- › Marcar con estacas de 0.5 m en los extremos este y oeste del área limitada cada 3 m, de acuerdo con la separación definida entre surcos.
- › Marcar un alambre galvanizado (de 100 m de longitud) a cada 1.5 m (o considerar la distancia definida entre plantas) y utilizarlo como guía para marcar la ubicación de cada planta en la hectárea al momento de hacer las cepas o pocetas.



Figura 12. Trazo de superficie a plantar, distancia entre surcos y entre las plantas dentro de los surcos

4.5. Plantación con estacas

La plantación con estacas implica la siembra directa de estacas cortadas de la planta y llevadas a la siembra sin el enraizamiento previo en vivero.

El establecimiento de la plantación con estacas se debe realizar en el periodo de sequía en los meses de marzo y abril (dependiendo del lugar a plantar) ya que en

la época de lluvia las estacas muy succulentas presentan pudrición de raíz y tallo con porcentajes de enraizamiento muy bajos.

El proceso es el siguiente (Figura 13) y requiere de trabajo en brigadas de al menos tres personas.



Figura 13.
Esquema del proceso
de plantación usando
estacas.

4.5.1 Obtención de estacas

- › Del área de plantas madre de la variedad requerida, seleccionar plantas con ramas maduras (del ciclo de crecimiento del año previo).
- › Cortar las ramas 10 cm arriba de su punto de inserción al tallo principal y dimensionar las estacas a 50 cm de longitud. El diámetro de las estacas debe ser de al menos 1.5 cm.

4.5.2 Embalaje de estacas

- › Hacer rollos de 67 estacas (para utilizar un rollo por cada fila de 100 m a plantar a 1.5 m cada estaca), envolviéndolas con papel periódico pegadas con cinta tipo canela y con su identificación de variedad, fecha y lote de procedencia. Desde el momento del corte de la estaca deben mantenerse bajo sombra para evitar deshidratación y quemaduras.

4.5.3 Traslado de estacas

- › Los rollos de estacas deben trasladarse en vehículos o remolques al lugar de plantación, cubriéndolas con malla y con las precauciones necesarias para no dañar la corteza de las estacas.

4.5.4 Plantación de estacas

- › Como se mencionó en el trazo de la plantación, se coloca en la primera fila el alambre (marcado previamente con la distancia entre plantas). En cada marca, una o más personas realizan huecos con una barreta, a 15 cm de profundidad y del diámetro de cada estaca y otra persona de la brigada lleva el rollo de estacas y coloca una estaca en cada hueco y con el pie la apisona de tal forma que la estaca quede firme.
- › Al terminar de plantar el primer surco, se mueve el alambre al segundo surco y se plantan las estacas de la misma forma, y así sucesivamente hasta concluir el área trazada y programada para plantación (Figura 14).



Figura 14.
Proceso de siembra
de plantas provenientes
de estacas.

4.6. Plantación de plantas de vivero con cepellón

La plantación con plantas procedentes de vivero implica utilizar plantas generadas por semilla o por estacas enraizadas, la principal ventaja al llevarla a campo es que son plantas que cuentan con un sistema de raíces y follaje que incrementa su sobrevivencia y le permiten un rápido crecimiento al establecerlas en campo.

El establecimiento de plantas con cepellón debe realizarse al inicio del periodo de lluvias, cuando el suelo esté con humedad para que las plantas sobrevivan e inicien un rápido crecimiento. Cuando existe riego en el área de siembra, se puede plantar durante todo el año, sin embargo, considerar que durante el invierno las plantas disminuyen su velocidad de crecimiento y pueden ser afectadas por otros factores físicos o bióticos.

El diagrama del proceso de siembra es el siguiente (Figura 15):

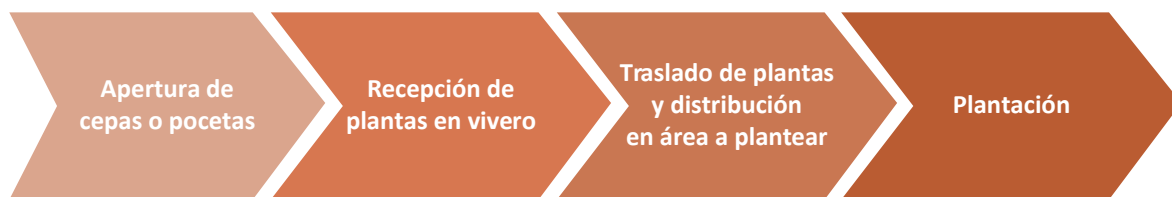


Figura 15.
Esquema del proceso
de siembra de plantas
proveniente de cepellón.

4.6.1 Apertura de cepas o pocetas

- › Como se mencionó en el trazo de la plantación, se coloca en la primera fila el alambre (marcado previamente con la distancia entre plantas) y en cada marca, una o más personas abren pocetas con pico o barreta de al menos 23 cm de profundidad (considerando que el cepellón de la bolsa es de 20 cm x 10 cm) y 12 cm de diámetro. Al terminar el primer surco, se mueve el alambre al segundo surco y se abren las pocetas respectivas y así sucesivamente hasta concluir la hectárea trazada o el área programada para siembra (Fig. 14).

4.6.2 Recepción de plantas de vivero

La producción de plantas de vivero debe estar programada conforme el calendario de plantación, para ofrecer la planta en la calidad adecuada.

- Solicitar las plantas a vivero semanalmente, indicando la cantidad y variedad requerida por día.
- Recibir la planta en huacales por la tarde el día anterior al establecimiento en campo y debidamente etiquetada.

4.6.3 Traslado de planta

- Cargar las plantas en vehículos o remolques y llevarlos al área de plantación, protegiendo la planta con malla sombra y descargando en áreas sombreadas.

4.6.4 Establecimiento de plantas con cepellón

- Distribuir las plantas en el área a plantar, dejando una planta a un lado de cada poceta.
- Quitar la bolsa de cada planta y colocar cuidadosamente la planta dentro de la poceta para no destruir el cepellón.
- Colocar tierra alrededor del cepellón y apisonar para eliminar bolsas de aire. Cuidar que la planta quede completamente vertical (Figura 16).
- Durante el proceso de plantación ir colectando las bolsas de polietileno y regresarlas al vivero para su reutilización o disposición final.



Figura 16.
Proceso de siembra de plantas con cepellón.
a) Marcado de surcos y plantas, y realización de pocetas; b) Siembra de plantas ejerciendo presión en la base del tallo, y c) Aspecto de plantación de una superficie con plantas con cepellón.

4.7. Siembra directa de semilla

Recientemente se está desarrollando una técnica de siembra mecanizada utilizando una sembradora de maíz, modificando los platos, que permita la siembra de la semilla de *J. curcas* y de maíz, para contar con un cultivo intercalado y aprovechar el suelo con cultivo anual en el periodo en que las plantas de *J. curcas* son pequeñas (Figura 17).



Figura 17.
Proceso mecanizado de siembra directa de semilla de *J. curcas* en asociación con maíz, mediante la utilización de una sembradora modificada de maíz.

4.8. Variedades

Jatronergy junto con CIATEJ iniciaron desde el año 2012 el mejoramiento genético de *J. curcas*, enfocado a incrementar la productividad de grano y aceite para lograr la rentabilidad en la producción de biocombustibles y otros subproductos a través de la generación de híbridos verdaderos que implican la selección de parentales, la formación de líneas endogámicas (a través de hasta cinco generaciones de autopolinización) y del desarrollo del método de dobles haploides, para posteriormente lograr la realización de las cruzas de polinización controlada. Como resultado de esta investigación científica, se ha pasado de producir 100 kg/ha en 2012 a más de 6 ton/ha en 2016 con el híbrido ALJCH01 y ALJCH03. En cada generación endogámica se consideraron las poblaciones y plantas individuales de mayor producción y otras características como tolerancia a enfermedades (pudrición de raíz, mancha de fruto y mancha foliar), una baja altura de planta, dehiscencia del fruto, entre otros caracteres.

Posterior a la generación del híbrido, éste se evaluó en experimentos de pruebas de rendimiento en diferentes localidades (ambientes) para determinar su adaptación y productividad, esto se realiza mediante el examen DHE (Distinción, Homogeneidad y Estabilidad) indicado por el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) que permitió a la empresa realizar el registro del híbrido como una variedad mediante el cual se obtiene el Título de Obtentor del híbrido específico y/o registro en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV).

En el Cuadro 2 se presenta un resumen de 5 variedades de alta productividad generadas para registro ante SNICS-Sagarpa y posteriormente se presentan las fichas técnicas de cada uno de los híbridos incluidos en este Cuadro.

Cuadro 2. Características agromorfológicas de variedades e híbridos de *J. curcas*.

Característica/ Híbrido	<i>J. curcas</i> ALJCH01	<i>J. curcas</i> ALJCH03	<i>J. curcas</i> Var. ALJC01®	<i>J. curcas</i> Sikilte	<i>J. curcas</i> Ochkan
Rendimiento año 1 (ton/ha)	3.0-3.5	3.0-3.5	1.0-1.5	1.1-2.0	0.9-2.1
Rendimiento promedio año 2 (ton/ha)	6.0	6.0	3.5	4.5	4.0

Continuación de Cuadro...

Característica/ Híbrido	<i>J. curcas</i> ALJCH01	<i>J. curcas</i> ALJCH03	<i>J. curcas</i> Var. ALJC01®	<i>J. curcas</i> Sikilte	<i>J. curcas</i> Ochkan
Plantas /ha	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200
Porte	Semierguido	Semierguido	Abierto	Semierguido	Semierguido
Altura	2.03	2.10	2.10	1.91	1.71
Núm. de ramas principales	5.4	5.0	4.5	5.0	5.0
Tolerancia a enfermedades	Intermedia	Intermedia	Intermedia	Intermedia	Intermedia
Tolerancia a sequía y temperaturas	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Tipo de inflorescencias	Mayormente masculinas	Mayormente masculinas	Mayormente masculinas	Solo flores femeninas (FOF)	Mayormente masculinas
Peso medio de una semilla (g)	0.89	0.97	0.73	0.94	0.86
Número de semillas/kg	1,116	1,031	1,370	1,064	1,163

Jatropha curcas ALJCH01

Ficha técnica Híbrido de padres homocigotos

Pedigrí del híbrido:

Parental femenino (S3)

Parental masculino (S2)

Rendimiento por ha:	3.0-3.5 ton en 1er año y 6.0 ton en 2º año (Península de Yucatán)
Contenido de aceite:	35% (con testa y extracción mecánica)
Ciclo de producción por año:	1 (septiembre-enero)
Porte de planta:	Semierguido
Altura de la planta:	2.03 m (promedio)
Número de ramas principales:	5.44 (promedio)
Tolerancia a enfermedades:	Intermedia
Tolerancia a sequía y temperaturas bajas:	Buena
Densidad de plantación:	Hasta 2200 plantas/ha
Porcentaje de prendimiento de estaca:	99%
Número de semilla por kg:	1,116

Característica de semilla:

- › Forma: Oblonga
- › Longitud: 19.7 mm
- › Ancho: 11.0 mm
- › Grosor: 9.0 mm
- › Peso: 0.9 g



Jatropha curcas ALJCH03

Ficha técnica
Híbrido de padres homocigotos

Pedigrí del híbrido:

Parental femenino (S3)	Parental masculino (S2)
Rendimiento por ha:	3.0-3.5 ton en 1er año y 6.0 ton en 2º año (Península de Yucatán)
Contenido de aceite:	35% (con testa y extracción mecánica)
Ciclo de producción por año:	1 (septiembre-enero)
Porte de planta:	Semierguido
Altura de la planta:	2.10 m (promedio)
Número de ramas principales:	5 (promedio)
Tolerancia a enfermedades:	Intermedia
Tolerancia a sequía y temperaturas bajas:	Buena
Densidad de plantación:	Hasta 2200 plantas/ha
Porcentaje de prendimiento de estaca:	99%
Número de semilla por kg:	1031

Característica de semilla:

- › Forma: Oblonga
- › Longitud: 22.9 mm
- › Ancho: 12.3 mm
- › Grosor: 9.9 mm
- › Peso: 0.97 g



Jatropha curcas Var. ALJC01®

Ficha técnica

Variedad de selección masal

Pedigrí híbrido:

Selección de alta producción de poblaciones silvestres

Rendimiento por ha: 1.0-1.5 ton en el año 1 y 3.5 ton en el año 2
(Península de Yucatán)

Contenido de aceite: 35% (con testa y extracción mecánica)

Ciclo de producción por año: 2 (mayo y septiembre-enero)

Porte de planta: abierto

Altura de la planta: 2.10 m (promedio)

Número de ramas principales: 4.5 (promedio)

Tolerancia a enfermedades: Intermedia

**Tolerancia a sequía
y temperaturas bajas:** Buena

Densidad de plantación: Hasta 2200 plantas/ha

**Porcentaje de prendimiento
de estaca:** 99%

Número de semilla por kg: 1,370

Característica de semilla:

- › Forma: Oblonga
- › Longitud: 20.7 mm
- › Ancho: 11.6 mm
- › Grosor: 9.3 mm
- › Peso: 0.73 g



Jatropha curcas Sikilte		
Ficha técnica		
Híbrido de padres heterocigotos		
Pedigrí híbrido:		
Parental femenino (S0)		Parental masculino (S0)
Rendimiento por ha en Hecelchakán, Campeche:	2.023 ton en el año 1	
Rendimiento por ha en Emiliano Zapata, Tabasco:	1.181 ton en el año 1	
Rendimiento por ha en Sucilá, Yucatán:	0.876 ton en el año 1	
Rendimiento promedio por ha:	4.5 ton en el año 2	
Contenido de aceite:	35% (con testa y extracción mecánica)	
Ciclo de producción por año:	2 (mayo y septiembre-enero)	
Porte de planta:	Semierguido	
Altura de la planta:	1.91 m (promedio)	
Número de ramas principales:	5.0 (promedio)	
Tolerancia a enfermedades:	Intermedia	
Tolerancia a sequía y temperaturas bajas:	Buena	
Densidad de plantación:	Hasta 2200 plantas/ha	
Porcentaje de prendimiento de estaca:	99%	
Número de semilla por kg:	1,064	
Característica de semilla:	› Forma: Oblonga › Longitud: 19.1 mm › Ancho: 11.3 mm › Grosor: 9.4 mm › Peso: 0.94 g	



Jatropha curcas Ochkan

Ficha técnica

Híbrido de padres heterocigotos

Pedigrí híbrido:

Parental femenino (S0) Parental masculino (S0)

Rendimiento por ha en Hecelchakán, Campeche: 2.095 ton en el año 1

Rendimiento por ha en Emiliano Zapata, Tabasco: 1.445 ton en el año 1

Rendimiento por ha en Sucilá, Yucatán: 0.876 ton en el año 1

Rendimiento promedio por ha: 4.0 ton en el año 2

Contenido de aceite: 35% (con testa y extracción mecánica)

Ciclo de producción por año: 2 (mayo y septiembre-enero)

Porte de planta: Semierguido

Altura de la planta: 1.71 m (promedio)

Número de ramas principales: 5 (promedio)

Tolerancia a enfermedades: Intermedia

Tolerancia a sequía y temperaturas bajas: Buena

Densidad de plantación: Hasta 2200 plantas/ha

Porcentaje de prendimiento de estaca: 99%

Número de semilla por kg: 1,163

Característica de semilla:

- › Forma: Oblonga
- › Longitud: 18.8 mm
- › Ancho: 10.9 mm
- › Grosor: 9.0 mm
- › Peso: 0.86 g



4.9. Control de malezas

Las malezas compiten con las plantas jóvenes por los recursos limitados, tales como nutrientes y agua. La competencia resulta regularmente en reducciones del crecimiento de las plantas, el nivel de nitrógeno en las hojas, el potencial de agua, la calidad y rendimiento de las frutas. Las malezas pueden ser hospederas de enfermedades y plagas, que también dificultan las actividades en el manejo de los huertos, tales como la irrigación y la cosecha. Los efectos mencionados hacen que sea una necesidad el manejo de malezas en la producción de *J. curcas*.

En terrenos mecanizables es posible aplicar un herbicida preemergente antes de realizar la plantación que ayudará a que se mantenga limpia la plantación durante los primeros 60 días.

En el periodo de lluvias (mayo-octubre para Yucatán) el crecimiento de malezas es acelerado, por lo que aquí es donde se deben concentrar las actividades de control.

4.9.1 Control manual

El control de malezas se puede realizar mediante chapeo manual con machete, coa o desbrozadora y combinado con el control químico.

Los chapeos se deben hacer cuidando no dañar los tallos de *J. curcas* con las herramientas porque las heridas en la base de las plantas permiten la infección de enfermedades como la pudrición de tallo y raíz.

Antes de aplicaciones de herbicida es necesario realizar un “cajeteo” o chapeo alrededor de cada planta para evitar aplicaciones al tallo y cortar los bejucos y otras malezas cercanas a las plantas de *J. curcas*.

4.9.2 Control químico

El control químico permite ahorro de costos en el control de malezas por la disminución de mano de obra. Se recomienda herbicidas de contacto (paraquat) para malezas de hoja ancha y glifosato para pastos, además se sugiere no hacer más de dos aplicaciones de herbicida por año.

Consideraciones para la aplicación de herbicidas:

- › En las aplicaciones de herbicida, evitar que el herbicida caiga sobre las plantas de *J. curcas*.
- › Se recomienda aplicar el herbicida en las primeras horas de la mañana cuando la velocidad del viento es baja. Cuando inicie el viento y se observe efecto de deriva, suspender las aplicaciones.
- › En plantas pequeñas, se pueden tapar con una cubeta antes de aplicar.
- › En todas las aplicaciones de herbicida utilizar campana en la punta de las varillas para evitar el efecto deriva en las aplicaciones.
- › No aplicar herbicida a menos de medio metro del tallo en plantas pequeñas y en la zona de goteo en plantas de mayor tamaño.
- › Utilizar las dosis comerciales indicadas en los productos a aplicar.
- › Aplicar herbicida en malezas menores a medio metro de altura, en caso de que la maleza sea mayor, realizar chapeo previo y aplicar herbicida al rebrote.

El proceso general para el manejo de malezas es el siguiente (Figura 18):

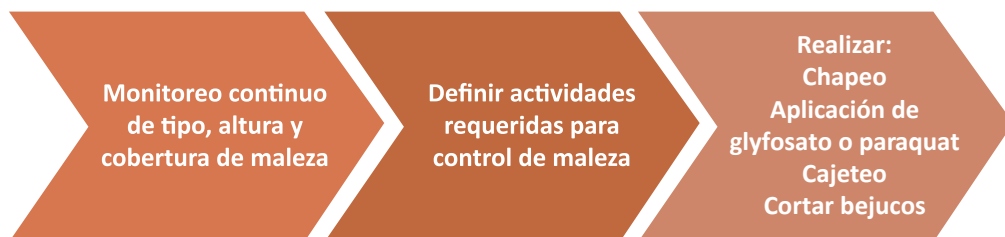


Figura 18.
Esquema del proceso
de control de malezas.

4.10. Riego

El uso del riego en la agricultura es una práctica desarrollada con la finalidad de proveer una cantidad adecuada de agua para el óptimo desarrollo de los cultivos y permitir así la producción durante todo el año.

J. curcas requiere al menos 900 mm de humedad anualmente, sin embargo, se obtienen incrementos en la producción cuando es posible contar con sistema de riego en el periodo de estiaje como riegos de auxilio. El riego por goteo mediante cintilla es el

recomendable para *J. curcas*, colocando una cintilla de cada lado de la fila de plantación, a 30 cm de la base en los primeros tres meses y posteriormente a medio metro de las plantas (Sánchez, 2007).

En 2016, Jatronergy obtuvo el 30% de incremento en la producción en una parcela experimental con riego comparada con una parcela sin riego, con la variedad ALJC01®. El riego consistió en mantener la humedad del suelo mayor a 20% medido a 20 cm de profundidad, lo cual se logró con un riego semanal de una hora en promedio.

4.11. Fertilización

Aunque la *J. curcas* es una planta que puede sobrevivir en suelos pobres, su productividad estará muy comprometida bajos esas condiciones, por lo que es importante proporcionarle los nutrimentos necesarios para obtener buenos rendimientos. *J. curcas* responde bien a fertilizantes tanto orgánicos como inorgánicos. Después de sembradas las plántulas se puede iniciar la fertilización desde los 20 días y se debe realizar anualmente para mantener la fertilidad del suelo y la productividad del cultivo.

En el Cuadro 3 se presentan resultados de producción en el primer ciclo de tres experimentos realizados en Yucatán, en donde se observa que los mejores resultados se obtuvieron al utilizar una base de 40 g/planta del fertilizante 17-17-17 o de fosfato diamónico (DAP: 18-46-00) y adicionando micorrizas (1 g/panta) en drench un mes posterior al establecimiento.

La respuesta a fertilizantes orgánicos como composta a base de estiércol y/o abonos verdes se observa cualitativamente en el vigor de las plantas, además de los efectos positivos en la textura y estructura del suelo, retención de humedad y contenido de materia orgánica.

Cuadro 3. Productividad de *J. curcas* a diferentes tratamientos de fertilización en el oriente de Yucatán en el primer ciclo de producción

Tratamiento	Fuente	Variedad	Año	kg/ha	%*
1 kg composta+(14-14-14)	Triple 18 Ultrasol	ALJC01®	2014	388	100
1 kg composta+(14-14-14) +Paclobutrazol	Triple 18 Ultrasol	ALJC01®	2014	482	124
Mezcla física: 168-162-0	Urea+MAP	ALJC01®	2014	632	163

Continuación de Cuadro...

Tratamiento	Fuente	Variedad	Año	kg/ha	%*
(14-14-14)+Micorrizas	Triple 18 Ultrasol	ALJC01®	2014	596	153
14-14-14	Triple 17	ALJC01®	2015	1,030	100
Abono verde + bioles	Biomasa de sorgo y bioles preparados	ALJC01®	2015	815	79
14-14-14	Triple 17	*Sikilte	2016	727	100
(14-14-14)+micorrizas	Triple 17	*Sikilte	2016	772	106
(14-14-14) +Microelementos	Triple 17+Micromix	*Sikilte	2016	699	96
51-60-52	Urea+DAP+SOP (ultrasol)	*Sikilte	2016	772	106
30-08-05	Urea+UltraP +UltraK	*Sikilte	2016	847	116

*El porcentaje (%) está en función al tratamiento indicado como 100% empleado como testigo, comparando experimentos del mismo ciclo de producción (año). *En proceso de registro.

Se recomienda realizar análisis de fertilidad de suelos de las áreas donde se haya establecido la plantación tomando al menos una muestra compuesta en cada condición de suelo encontrada como: suelos rojos, suelos oscuros y pedregosos, suelos con laja (suelos formados por placas de piedra dura y con una capa de suelo muy delgada), etcétera. Con el resultado del análisis identificar los macroelementos faltantes críticos y los microelementos, y así enfocar la fertilización a estos elementos.

El proceso de fertilización se muestra en el siguiente esquema (Figura 19):

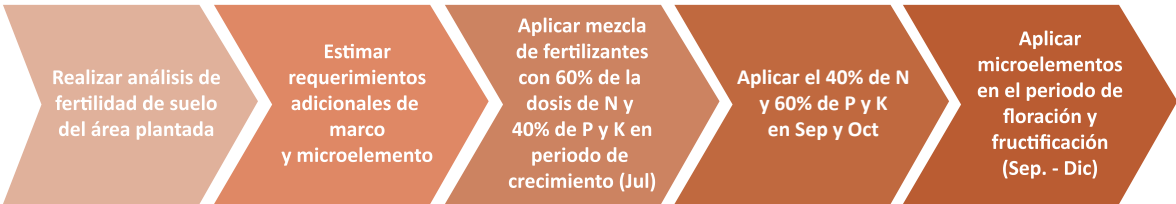


Figura 19.
Proceso de fertilización de plantaciones de *J. curcas*. Los fertilizantes y cantidades que se adicionan varían dependiendo del tipo de suelo.

Preferentemente, emplear fuentes de fertilizantes de reacción ácida (sulfatos), ya que los suelos de la Península en lo general son de pH neutro a ligeramente alcalino.

La forma de aplicar el fertilizante es enterrarlo a 30 cm de distancia de la base de la planta en la primera aplicación, y posteriormente aplicarlo en fertirrigación en la línea de goteo alternando los puntos de aplicación.

La plantación debe estar libre de malezas al momento de la fertilización, de lo contrario éstas también estarán aprovechando el fertilizante.

4.12. Podas

La poda en frutales consiste en cortar, remover o acortar partes del ramaje para producir una planta fuerte, bien formada y con frutos de buen tamaño y calidad. El frutal que no se poda aumenta el volumen del follaje pero tiene una producción irregular o reduce la cosecha. Las podas más comunes son: de formación, de fructificación, de saneamiento y de rejuvenecimiento (Samsam, 2013).

En *J. curcas* se sugiere realizar podas de formación, fructificación y/o saneamiento en el periodo de sequía (una vez por año), cuando las plantas están sin hojas. Los objetivos principales son:

- › Disminuir la altura de las plantas para facilitar su cosecha.
- › Eliminar ramas enfermas o con daños físicos.
- › Dejar ramas productivas.

El proceso de poda es el siguiente (Figura 20):

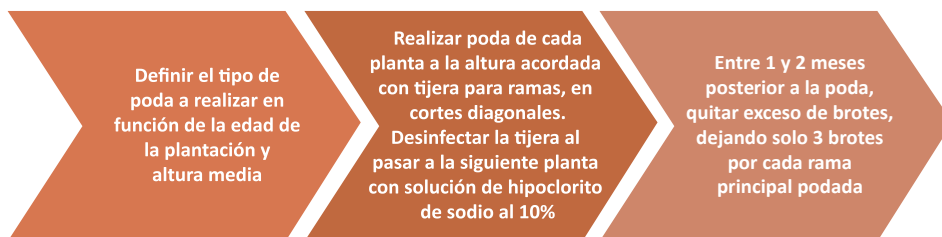


Figura 20.

Proceso de poda de plantas en el cultivo de *J. curcas*.

Los resultados preliminares de altura de poda para la variedad de polinización libre ALJC02 indican que a mayor altura de poda la producción de la planta es mayor, siendo el despunte (corte de 10-20 cm de las puntas de las ramas hacia abajo) el mejor tratamiento; sin embargo, con este tratamiento no es posible bajar la altura de las plantas para facilitar la cosecha.

En otro experimento con la variedad ALJC01® de *J. curcas*, donde se podó a 70 cm de altura y se redujo el número de brotes en cada rama podada, el mejor tratamiento fue cuando se dejaron solo tres brotes por rama podada como se observa en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Productividad en experimento de arquitectura de poda de *J. curcas* Var. ALJC01®

Tratamiento	Descripción	Frutos/planta	kg/ha
1	Sin corte de retoños (testigo)	312	437
2	Dejar todos los retoños superiores	266	372
3	Dejar 3 retoños superiores de cada rama podada	358	501
4	Dejar 3 retoños en la parte baja de cada rama podada	219	307
5	Dejar 3 retoños en la parte superior de la rama y 3 en la parte inferior de cada rama podada	285	399
Promedio general		286	400

4.13. Control de plagas y enfermedades

De manera general se ha asumido que la planta de *J. curcas* no es afectada de manera grave por plagas y enfermedades, por lo que el manejo fitosanitario es mínimo. Sin embargo, a pesar de que *J. curcas* es una planta altamente tóxica, no es resistente a plagas y enfermedades. Actualmente, debido al monocultivo que se emplea en algunas regiones de México, se han reportado problemas fitosanitarios relacionados con el cultivo, lo cual coincide con reportes realizados en otros países (Sharma, 2007).

Referente a plagas y enfermedades se sugiere la consulta del *Manual de las principales plagas y enfermedades que afectan el cultivo de *J. curcas* L. en el Sureste de México*, desarrollado entre la em-

presa Agroindustria Alternativa del Sureste (Grupo Lodemo) en colaboración con el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C (CIATEJ) con información específica de organismos que se observaron en las plantaciones de *J. curcas* de la empresa, en este Manual se describe la plaga/enfermedad, su comportamiento y las alternativas de manejo evaluadas para la Península de Yucatán. En el Cuadro 5 se presenta una lista de las plagas y enfermedades importantes observadas en las plantaciones de *J. curcas* en la Península de Yucatán, las cuales se encuentran incluidas en el Manual (Uc-Vázquez *et al.*, 2018).

Cuadro 5. Plagas y enfermedades importantes observadas en plantaciones de *J. curcas* en la Península de Yucatán

Plagas
Piojo harinoso (<i>Pseudococcus</i> sp)
Araña roja (<i>Tetranychus urticae</i>)
Ácaro dorado (<i>Aculops</i> sp)
Hormiga arriera (<i>Atta</i> sp)
Langosta (<i>Schitoserca piceifrons piceifrons</i>)
Picudo y barrenador de los tallos
Barrenador de la semilla
Mosquita blanca
Termitas
Enfermedades
Muerte de plántulas en vivero (Dan ping off)
Pudrición apical de estacas (<i>Phomopsis</i> sp)
Antracnosis o necrosis en hoja (<i>Colletotrichum</i> spp)
Manchado foliar (<i>Corynespora</i> sp)
Manchado del fruto (<i>Corynespora</i> sp)
Acortamiento de entrenudos (<i>Fusarium oxysporum</i>)
Roya en hoja (<i>Phakopsora</i> sp)
Pudrición de la raíz (<i>Lasiodiplodia theobromae</i>)
Momificación de las semillas (<i>Botrytis cinérea</i>)



5 | Producción

5.1. Floración y producción

La *J. curcas* presenta varias etapas fenológicas a lo largo del año, presentando fases de brotación vegetativa, floración, fructificación, defoliación y reposo, que en conjunto conforman su ciclo anual. Para las condiciones ambientales de Yucatán, se observa un marcado periodo de crecimiento vegetativo de mayo a septiembre (periodo de mayor precipitación), periodo de defoliación (diciembre) y reposo en diciembre-enero relacionado a temperaturas promedio mínimas menores a 18 °C. Bajo las condiciones de la Península de Yucatán existen dos periodos de floración marcados, en el mes de mayo (con inflorescencias mayormente masculinas, generando menos de 10 frutos por racimo) y floración continua de agosto a noviembre que genera el mayor periodo de producción (con inflorescencias mayormente femeninas).

La floración de *J. curcas* inicia 3 a 4 meses después de su establecimiento definitivo en condiciones de ambiente favorables, a partir de la antesis, el fruto madura entre 60 y 90 días. Las inflorescencias se forman en el ápice de las ramas, posteriormente (antes de que las flores abran), las ramas bifurcan y generan brotes de 20 cm aproximadamente y emiten nuevas yemas florales y se repite la bifurcación de la rama y crecimiento vegetativo. De esta forma, la planta presenta un periodo amplio de floración y producción cuando existen condiciones ambientales adecuadas de temperaturas, humedad de suelo y nutrición. Este crecimiento de las plantas de *J. curcas* permite que se observen en la planta: flores, frutos verdes y frutos maduros (Figura 21). En la Figura 22 se presenta una curva del porcentaje de cosecha obtenida mensualmente en una población de 800 plantas en su segundo ciclo de producción, observándose un periodo de producción de mayo a agosto y la mayor producción en el periodo de octubre a enero.



Figura 21.
Floración de *J. curcas*. A) Formación de botón floral en el ápice de la rama; B) y C) Inflorescencia con flores abriendo y crecimiento de nuevos brotes vegetativos, y D) Rama con frutos verdes antes de maduración e inflorescencias.

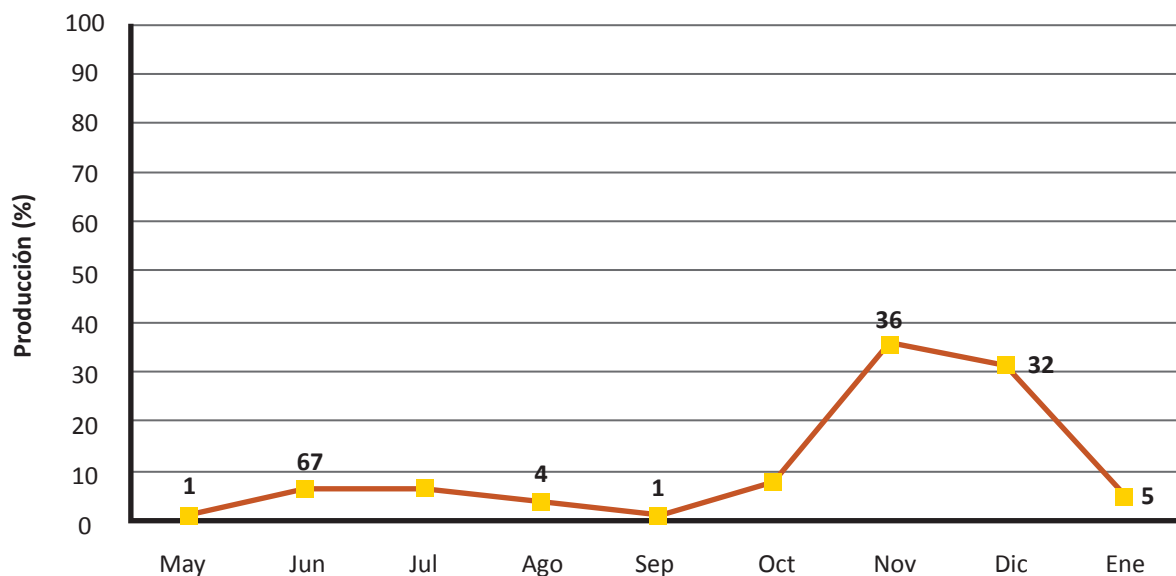


Figura 22.
Curva del porcentaje de producción (estimado por número de frutos cosechados) en una población de 800 plantas de *J. curcas* en su segundo ciclo de producción en Yucatán.

5.2. Cosecha

Los frutos maduros se identifican cuando cambia su coloración de verde a amarillo y posteriormente color café. Se pueden cosechar cuando están de color amarillo o de color café.

De acuerdo con la variedad, los frutos tienen diferentes grados de dehiscencia, y algunos como la variedad ALJC01® el fruto puede permanecer en la planta como fruto seco por más de 2 meses sin que caiga al piso, otras variedades poseen frutos muy frágiles que caen al suelo en cuanto pasan del color amarillo a fruto seco, lo que provoca pérdidas por pudrición, básicamente, los híbridos ALJCH01, ALJCH02 y ALJCH03 son de dehiscencia media.

El proceso operativo para la organización de la cosecha es el siguiente (Figura 23):

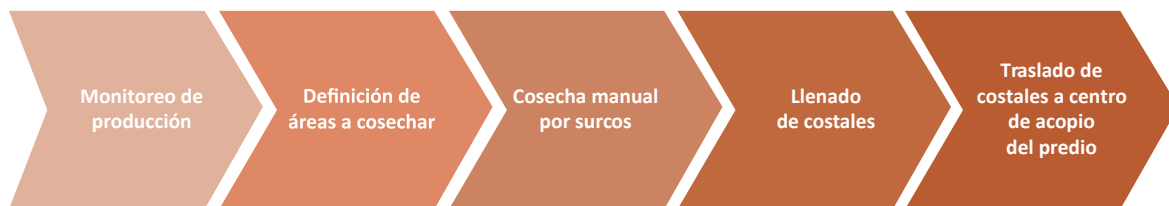


Figura 23.
Esquema del proceso de cosecha.

5.2.1 Monitoreo de producción

Consiste básicamente en estimar la cantidad de fruto maduro que habrá para las próximas dos semanas para hacer un plan de cosecha y estimar recursos necesarios. La estimación puede hacerse por unidad de área o lote eligiendo árboles al azar y contando el número de frutos verdes que se observen próximos a maduración.

5.2.2 Definición de áreas para cosecha

Las áreas a cosechar están en función de la cantidad de fruto próximo a cosechar y la logística propia de cada sitio.

Logísticamente, se debe considerar el personal para cosecha (se estima un potencial de 200 a 300 kg de cosecha de fruto por jornal), su transporte a las áreas de cosecha, costales con correa para cosechar, costales para almacenar el fruto, el acercamiento de los costales con fruto a orilla del camino, vehículo para el traslado del fruto, carga y descarga del fruto.

5.2.3 Cosecha manual

La cosecha manual se organiza asignando una persona en cada surco o grupo de surcos, donde el trabajador va cosechando los frutos maduros (color amarillo y/o café) planta por planta, colocando el fruto cosechado en una bolsa de rafia que lleva consigo; cuando la bolsa se llena debe vaciarla en un costal de rafia cercano ubicado a menos de 25 m. Actualmente, Jatronergy está desarrollando una técnica de cosecha mecanizada basada en la utilización de aspiradoras motorizadas que permiten la succión tanto de frutos secos caídos en el suelo y los que aún están en el árbol.

5.2.4 Llenado de costales

De forma continua, al llenarse cada costal al momento de la cosecha, debe amarrarse con hilo de rafia y al final de la jornada de cosecha trasladar los costales a orilla del camino.

5.2.5 Traslado de costales con fruto a centro de acopio

Cada costal lleno de fruto debe cargarse al medio de transporte disponible y llevarse al centro de acopio del predio el mismo día de su cosecha.



Figura 24.

A) Cosecha manual de *J. curcas*; B) Traslado de frutos cosechados al centro de acopio, y C) Frutos amarillos cosechados en el centro de acopio.

5.3. Manejo poscosecha: despulpado, secado y almacenaje de grano

Como parte del manejo poscosecha es necesario la extracción del grano del fruto, el secado del grano y almacenaje del mismo. El proceso se esquematiza de la forma siguiente (Figura 25):

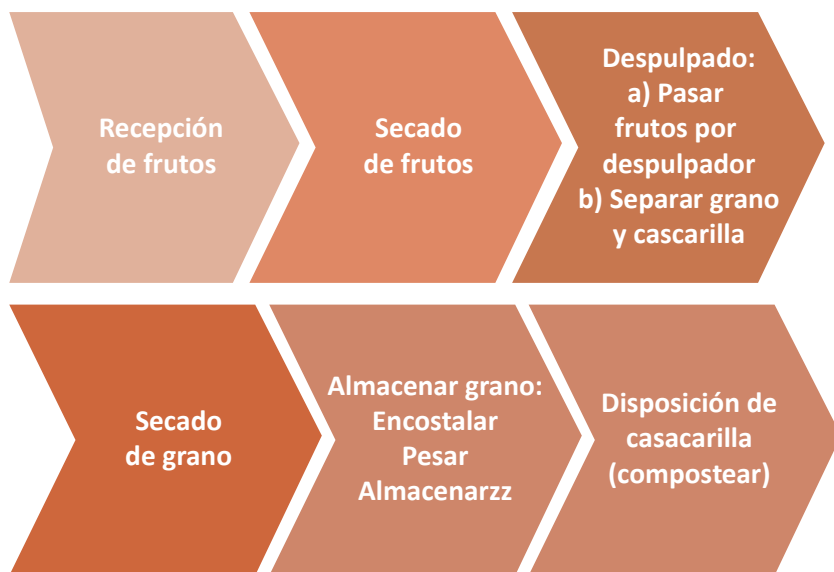


Figura 25.
Esquema del proceso
del manejo poscosecha
de grano.

5.3.1 Recepción de frutos en centro de acopio

En el centro de acopio se deben recibir todos los frutos cosechados diariamente antes de concluir la jornada. Como parte del control se sugiere llevar una bitácora del centro de acopio para registrar el peso de cada costal de fruto recibido y el lote de procedencia.

5.3.2 Secado de frutos

Los frutos amarillos y que están cambiando a color café tienen alto contenido de humedad, por lo que la pulpa o cáscara del fruto inicia un proceso de pudrición rápidamente al estar dentro de costales, lo que hace necesario que en el centro de acopio se extiendan en capas de 10 cm de espesor como máximo y pasen lo más pronto posible al despulpado. En un fruto amarillo la semilla representa alrededor del 33% de su peso y en un fruto seco, el peso de la semilla representa hasta 67%.

5.3.3 Despulpado o extracción de semillas

En el centro de acopio debe extraerse el grano de los frutos cosechados. Es recomendable utilizar un equipo mecánico (despulpador) para romper los frutos y así facilitar la extracción del grano (Figura 26).

Para la separación del grano y la cáscara del fruto se recomienda utilizar cernidores con mallas donde pase la semilla y la cáscara del fruto quede encima de la malla. De esta forma la separación se realiza con facilidad. Para eliminar las partículas pequeñas, también se pueden utilizar ventiladores de pedestal.

5.3.4 Secado de grano

Es necesario secar el grano exponiéndolo a sol por al menos tres días, la humedad del grano debe llegar a menos de 12%.

5.3.5 Almacenaje de grano

El grano seco puede almacenarse en costales de rafia o en contenedores de mayor tamaño. Se recomienda llevar control en bitácoras del grano almacenado por fecha de cosecha, volumen y lote de procedencia. El grano puede permanecer más de un año almacenado sin daño de los ácidos grasos, lo adecuado es que permanezca en almacenaje el menor tiempo posible y se lleve a la fase de extracción de aceite. Se deben considerar posibles daños por hongos, gorgojos, polillas y/o roedores (ratones).

5.3.6 Disposición de cáscara de frutos

La cáscara de frutos es biomasa suave que se puede compostear para uso posterior como sustrato o distribuir en la plantación alrededor de las plantas de *J. curcas* como acolchado y que se integre al suelo como materia orgánica.

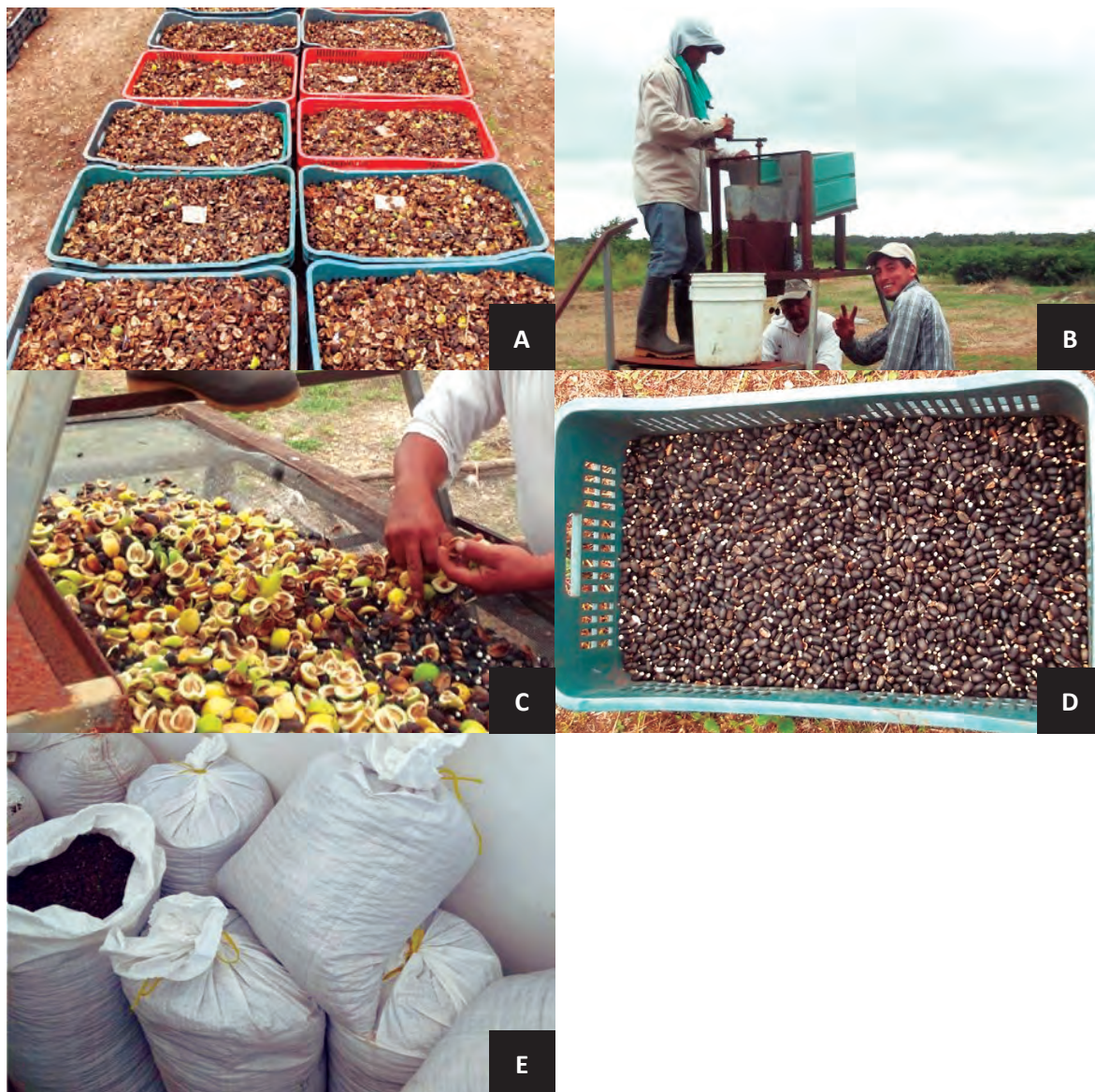


Figura 26.
Fotografías de proceso de poscosecha de *J. curcas*.
A) Secado de fruto; B) y C) Despulpado o descascarado de fruto; D) Secado de grano, y E) Almacenaje de grano.



Literatura consultada

- Consejo para el Desarrollo de Sinaloa México. 2015. Compendio de paquetes tecnológicos para el establecimiento de la cadena agroindustrial de *J. curcas curcas* en el noroeste de México. En línea: http://www.codesin.mx/wp-content/uploads/2015/03/compendio_J_curcas.pdf. Fecha de consulta: 5/Ago/2017.
- Díaz-Fuentes, V.H., Iracheta-Donjuan, L., Solís-Bonilla, J.L., Basulto-Graniel, J.A., Rico-Ponce, H.R., González-Jiménez, A., López-Guillén, G., Martínez-Bolaños, M., Salinas-Cruz, E. 2015. *El cultivo del piñón para la producción de biocombustibles*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo Experimental Rosario Izapa. Folleto para productores Número 34. Tuxtla Chico, Chiapas, México. 47 pp.
- Hawkins, D., Wigglesworth, T. 2017. "Too Good To Burn: *J. curcas* Sector Review". *Hardman Agribusiness*. London, United Kingdom. 56 pp.
- Inurreta-Aguirre, H.D., García-Pérez, E., Uresti Gil, J., Martínez- Dávila, J.P., Ortiz- Laurel, H. 2013. "Potencial para producir *J. curcas* L. como materia prima para biodiésel en el estado de Veracruz". *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 16:325 — 339. Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida-México.
- Foidl, N., Foidl, G., Sanchez, M., Mittelbach, M., Hackel, S. 1996. "*Jatropha curcas* L. as a source for the production of biofuel in Nicaragua". *Bioresource Technology*. 58:77- 82.
- Francis, G., Endinger, R., Becker, K.A. 2005. "A concept for simultaneous wastelands reclamation, fuel production, and socioeconomic development in degraded areas in India: need, potential and perspectives of *Jatropha* plantations". *Natural Resources Forum*. 29:12-24.
- Martínez, H., P. Siddhuraju, G., Dávila, F.O., K. Becker, K. 2006. "Chemical composition toxic/anti-metabolic constituents and effects of different treatments on their level, in four provenances of *Jatropha curcas* L. from México". *Food Chemistry*, 96: 80-89.
- Sagar M. and Prasanna-Kumar, P. 2011. "Effects of Fertilizer Application on Growth and Yield of *J. curcas* L. in an Aerobic Tropaept of Eastern India". *Not Sci Biol*, 3:95-100. Available online at www.notulaebiologicae.ro.
- Sagarpa, SNICS. 2014. *Guía técnica para la descripción varietal de Jatropha (J. curcas L.)*. México, 22 pp.
- Sagarpa-COLPOS. Estimación de las demandas de consumo de agua. En línea: <http://docplayer.es/9856321-Estimacion-de-las-demandas-de-consumo-de-agua.html> Fecha de consulta: 6/ene/2016.
- Samsam, C.I. 2013. "Pruning Techniques for *J. curcas* L. to Increase Seed Yield Production". *MMSU Science and Technology Journal* 3: 59-68.

- Sánchez, R. y Mata-Vázquez, H. 2006. Cálculo de volúmenes de agua para riego por goteo en el cultivo de Sandía en la planicie huasteca. INIFAP-Sagarpa. Despegable técnica Núm. 4.
- Sharma, N. 2007. "Pest disease management". In: *FACT seminar on J. curcas L. agronomy and genetics*. FACT Foundation. Wageningen, Netherlands.
- Sunil, N., Varaprasad, K.S., Sivaraj, N., Kumar, T.S., Abraham, B., Prasad, R.B.N. 2008. "Assessing *J. curcas* L. germplasm in-situ a case study". *Biomass and Bioenergy*. 32:198-202.
- Teniente, O.R., Tapia V., L.M., González, A.A., Zamarripa C., J.L., Solís B., B., Martínez, V.M., Hernández, M. 2011. *Guía técnica para la producción de piñón mexicano (J. curcas L.) en Michoacán*. Folleto Técnico Núm. 2 Sagarpa. INIFAP-CIRPAC Campo Experimental Valle de Apatzingán. Apatzingán, Michoacán, México 52 pp.
- Tiwari, A.K., Kumar, A., Rahman, H. 2007. "Biodiesel production from *Jatropha (J. curcas)* with high free fatty acids: an optimized process". *Biomass and Bioenergy*. 31:569-575.
- Trabucco, A., Achten, W.M.J., Bowe, C., Aerts, R., Van Orshoven, J., Norgroves, L., Muys, B. 2010. "Global mapping of *J. curcas* yield based on response of fitness to present and future climate". *GCB Bioenergy* 2:139-151.
- Uc-Vázquez, A., Góngora-Canul, C.C., López-Puc, G., Sebastián-Martínez, G., Aguilera-Cauich, E.A. 2018. *Manual de las principales plagas y enfermedades que afectan el cultivo de J. curcas L. en el Sureste de México*. CIATEJ-Agroindustria Alternativa. Manual técnico. Mérida Yucatán 94 pp.

