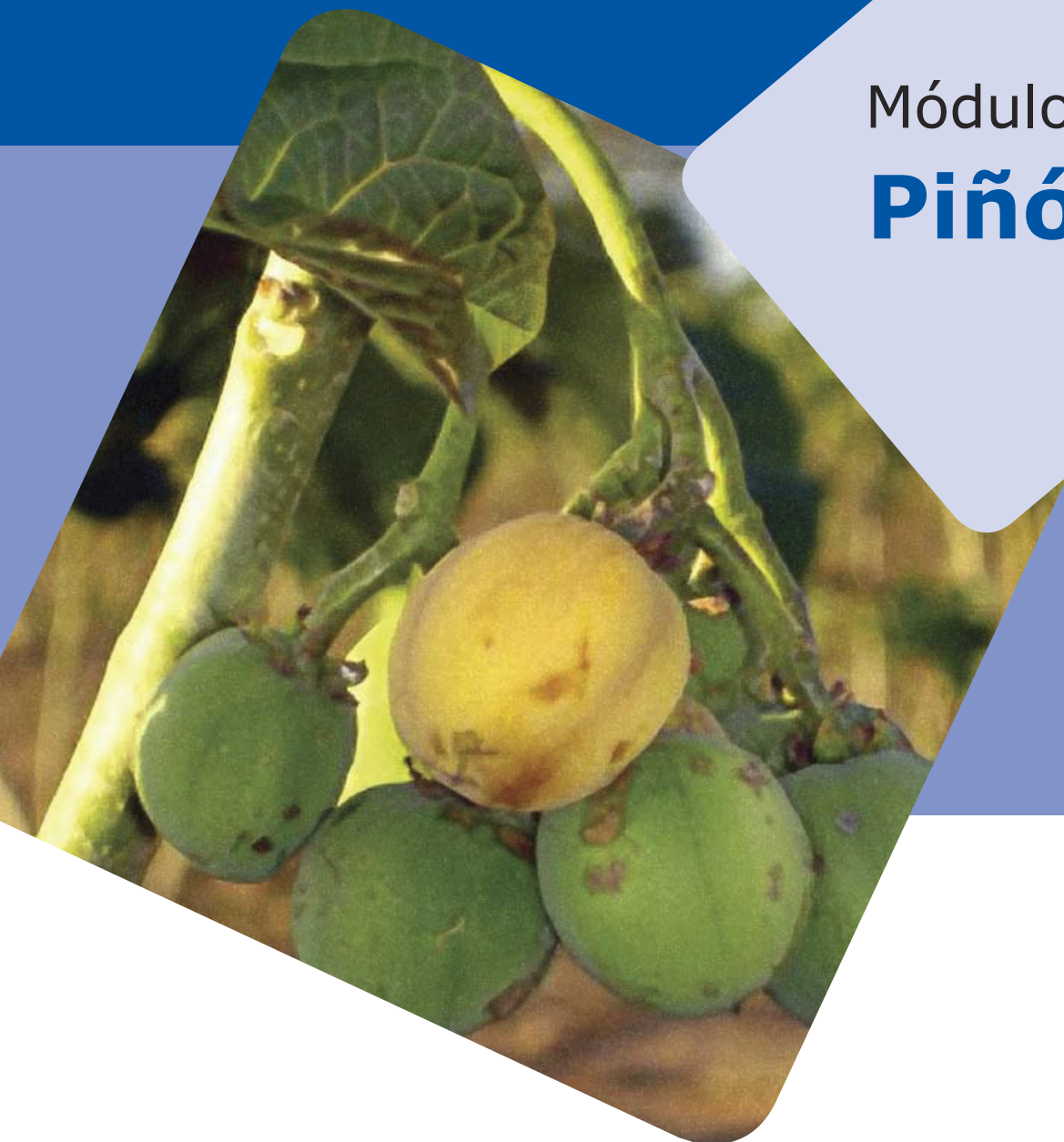


Cultivos para la producción sostenible de biocombustibles: Una alternativa para la generación de empleos e ingresos

Módulo I: **Piñón**



SNV

Servicio Holandés

de Cooperación

al Desarrollo

© Servicio Holandés de Cooperación al Desarrollo SNV
Col. Matamoros, Avenida La Paz, Casa 2716
Tegucigalpa, Honduras, Centroamérica
Apartado Postal No. 15025, Col. Kennedy
Tel. (504) 236-9233 / 7915 / 8725 / 5597
Fax (504) 236-5713 / 9669
E-mail: honduras@snvworld.org
www.snvworld.org / www.snv-la.org

Autor:
Miguel Ángel Ramírez, Consultor Internacional

Coordinadores:
Willem Bron, Asesor Líder en Biocombustibles
Evelyn Hernández, Asesora en Marcos Regulatorios y Políticas
Damien vander Heyden, Gerente en Desarrollo Económico

Primera edición: Julio de 2008

Edición y diseño: Comunica

Impreso en: impresiones industriales

Tiraje: 500 ejemplares

Derechos Reservados del Servicio Holandés de Cooperación al Desarrollo SNV.
Prohibida su reproducción total o parcial con fines de lucro, sin autorización de
SNV.

Impreso y hecho en Honduras

Contenido

Introducción / 2

Piñón / 5

- Características generales / 5
- Experiencias previas de cultivo / 6
- Producción agrícola y rendimiento de biocombustibles / 7
- Uso de subproductos / 9
- Acceso a energía / 10
- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero / 10
- Requerimientos de mano de obra / 11
- Ingresos para el agricultor / 11

Abreviaturas / 14

Bibliografía / 15

Anexos / 16

Introducción

Las constantes alzas al precio del petróleo y la dependencia de los países latinoamericanos de los combustibles fósiles ha propiciado la búsqueda de fuentes alternativas de energía para cubrir sus necesidades. El uso de la bioenergía se plantea como una opción con muchas posibilidades de desarrollo para la región. El Servicio Holandés de Cooperación al Desarrollo SNV ha decidido apoyar estos esfuerzos como una forma de promover los negocios inclusivos y la producción de bioenergía que complemente las necesidades energéticas de la región.

Con el objetivo de sistematizar la información y difundir conocimientos sobre el tema, particularmente referentes a materias primas para la producción de biocombustible, se ha elaborado un conjunto de módulos descriptivos donde se presentan las características de algunos cultivos que se pueden utilizar en la producción de aceite, biodiésel y etanol¹.

Los cultivos que se han seleccionado para estos módulos son: piñón o tempate (*Jatropha curcas* L.), higuero (*Recinus communis* L.), jícaro (*Crescentia alata*), palma africana (*Elaeis guineensis*) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). Para cada uno de ellos se presenta la siguiente información:

Características generales. Se describen las particularidades del cultivo. Los tipos de suelo adecuados para su siembra, condiciones de clima, arquitectura del cultivo y cosecha.

Experiencias previas. Se describe de manera breve la experiencia adquirida en el cultivo como materia prima para la fabricación de biocombustibles.

Producción agrícola y rendimiento del biocombustible. Se presentan datos de producción del cultivo con los que se estima el rendimiento de biocombustible por hectárea cultivada. Se especifican dos tipos de rendimiento: uno regular o promedio y otro bueno o potencial, los cuales dependen de la información que se obtuvo, presentando un rango de valores de referencia. La selección de éstos ha sido subjetiva, basada en las observaciones y en fuentes consultadas. La finalidad es proporcionar una referencia base de los posibles rendimientos, así como valorar otros atributos del cultivo. No se pretende una categorización de los mismos. Un análisis objetivo de los rendimientos para algunos de estos cultivos demanda una evaluación más profunda, lo que está fuera del alcance de este estudio.

El rendimiento del aceite depende del equipo y del método de extracción empleados, ya sea mecánico o por solventes. Con la extracción mecánica se puede obtener un 75% de rendimiento y usando sistemas de prensado comercial, se puede llegar hasta un 90%. La extracción por solventes es más eficiente y puede alcanzar valores cercanos al 100% (Sha, *et ál.*, 2004 y 2005). Con propósitos de evaluación, se toman valores de 90% para la extracción mecánica

1 Para los fines de este estudio sólo se evaluarán esos 3 tipos de biocombustible.

y 100% para extracción por solventes; lo anterior se hace para simplificar los cálculos, el valor real puede ser ligeramente inferior.

Uso de subproductos. Se entenderán como subproductos aquellos resultantes de convertir la materia prima en biocombustibles, es decir, son las partes del cultivo que no se utilizan directamente para producir biodiésel. No se pretende agotar todos los posibles usos de los subproductos, sino presentar aquellos que tengan mayores posibilidades de comercializarse. Cuando es posible, se estima su valor de mercado.

Posibilidades de acceso a energía. Se presenta el valor calorífico del biocombustible y sus subproductos. Se estima la energía potencial que se puede generar por cada hectárea sembrada.

Reducción de emisiones de efecto invernadero. La producción de biocombustibles tiene el potencial de disminuir emisiones de gases de efecto invernadero, las que se pueden vender en el mercado internacional por medio del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), especificado en el Protocolo de Kyoto.

La reducción de emisiones se genera al sustituir combustible fósil por biocombustibles, aunque se produce cierto volumen de emisiones debido a las actividades de toda la cadena de producción de un proyecto de biocombustibles. El uso de fertilizantes que generan N_2O , el contenido de carbono de metanol y otros, generan emisiones considerables de CO_2 , por lo que debe estimarse si al sumar todos los factores realmente hay una reducción neta de emisiones².

Para calcular la reducción de emisiones del biodiésel se utilizó parcialmente la metodología aprobada AM0047 de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC). Se estimó, además, un valor de reducción neto de 2.45 tCO₂ por tonelada de biodiésel³. En el anexo 1 se encuentra la explicación de este cálculo.

En el caso del etanol, el cálculo de emisiones se describe en el módulo correspondiente a la caña de azúcar.

Una forma adicional de reducir las emisiones se produce por la capacidad de absorción de carbono que poseen las plantas, ya que la plantación representará buena extensión que aprovechará el carbono en la fotosíntesis; ello representaría un factor importante en la reducción, siempre y cuando no se haya deforestado

2 Casos en los que se destruye un bosque para plantar cultivos energéticos, como la palma africana, producen más emisiones de CO_2 , ya que liberan las toneladas que estaban secuestradas en los árboles. Por lo que, al evaluar las reducciones en emisiones, no se debe considerar sólo el biocombustible en sí, sino también el origen de las materias primas.

3 El valor 2.45 tCO₂ se estimó independientemente del tipo de materia prima con la que se fabricó y sólo incluye las reducciones por la sustitución del diésel fósil y el aumento en emisiones por el uso de metanol en el proceso. Sin embargo, no se incluyó el aumento por uso de fertilizantes (N_2O), el cual depende de cada cultivo. También se asume que los cultivos se han realizado en áreas donde antes no existían bosques o sumideros de carbono.

para plantar. En los casos en que esa información está disponible, se presenta separadamente de las emisiones reducidas por biocombustibles.

Requerimientos de mano de obra. Se estima la mano de obra a utilizar por hectárea para las labores de plantación, mantenimiento y cosecha.

Ingresos para el agricultor. Se presentan las ganancias que puede obtener un agricultor por hectárea cultivada. A su vez, se incluye el costo de inversión por hectárea, la cual es definida como la inversión que se debe realizar en el primer año para el establecimiento de la plantación.

Costos de etanol/biodiésel y aceite vegetal. Se hace una valoración de posibles costos de los biocombustibles. En algunos casos, se presentan los costos arrojados por otros estudios o fuentes. En los casos en que sólo se obtuvo información parcial, el resto de la información se conforma con base en supuestos.

Para calcular los costos del biodiésel y del aceite vegetal se toman en cuenta los siguientes componentes: costo de la materia prima, costo de extracción y costo de transesterificación. En el costo de la materia prima no se toman en cuenta las ganancias del proceso de extracción.

Todos los valores de precios y costos se presentan en dólares americanos. Los valores en otras monedas extranjeras aparecen identificados y se presenta la equivalencia al tipo de cambio promedio del año en que se emitió la información.

Piñón

Características generales

Nombre científico: *Jatropha curcas* L.

Nombres comunes: Piñón, tempate piñoncillo, coquito, coquillo, jatropa (español); physic nut, purging nut (inglés); pinhao manso (portugués).



Pertenece a la familia *Euphorbiaceae*; es un arbusto o árbol que puede alcanzar los 6-8 metros de altura y una longevidad mayor de 50 años.

Las semillas contienen entre 30% y 37% de aceite. Tanto el aceite como la torta son tóxicos y no son aptos para consumo animal por su contenido de curcina, una proteína tóxica⁴. En México existen variedades no tóxicas o que contienen un bajo nivel de toxinas; en ese caso, la torta se podría usar para consumo animal, pero existe cierta resistencia a su consumo en el mercado de alimentos para animales⁵.

Entre otros usos, la planta se ha utilizado tradicionalmente como barrera contra la desertificación, recuperación de suelos degradados y cercas vivas.

Tipos de suelo: Los más aptos son suelos franco arenosos o arcillo arenosos, livianos, ventilados y bien drenados. El piñón, también conocido como tempate, no tolera suelos inundables o pesados. El rendimiento del cultivo responde bien al uso de fertilizantes orgánicos o químicos cuando las condiciones del suelo son pobres⁶.

Puede crecer en suelos con un pH entre 4.5 y 6.5; sin embargo, algunas fuentes no recomiendan suelos ácidos (pH < 4.5 – 5.55) ni alcalinos > (pH > 8.5).

Requerimientos de agua: El piñón puede crecer con una precipitación anual entre 250 mm y 2000 mm. Sin embargo, se considera necesario un mínimo de 600 mm para la producción de frutos y un rango mínimo de 800-1000 mm y un máximo de 1200-1500 mm, bien distribuidos durante el año, para la producción en condiciones ideales⁷. En condiciones de poca precipitación se puede utilizar irrigación.

4 Otros componentes tóxicos de la planta son esteres de forbol, saponinas, inhibidores de proteasa y fitatos.

5 Jongschaap Corré, Bindraban y Brandenburg (2007). Claims and facts on *Jatropha Curcas* L. Plant Research International Wageningen. p. 16.

6 FACT (2007). Position Paper on *Jatropha Curcas*. State of the Art, Small and Large Scale Project Development. p. 3.

7 Altos niveles de precipitación pueden causar problemas de hongos.

Clima: El piñón crece desde regiones tropicales muy secas hasta bosques lluviosos y en la mayoría de subtrópicos. Muchos estudios establecen que la temperatura adecuada para el cultivo es entre 18 y 28.5 grados centígrados.

Arquitectura del cultivo: Se propaga por semilla o estaca, pero se recomienda la primera pues las plantas resultantes bajo el método por estaca tienen una vida más corta y menor fuerza ya que sólo se generan raíces laterales.

Algunos de los distanciamientos y densidad de plantas sugeridos o utilizados se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Distanciamiento y densidad

Piñón				
Distanciamiento (m)	2 x 2	4 x 1	2.5 x 2.5	3 x 3
Densidad plantas/ha	2,500	2,500	1,600	1,111

Fuente: *Elaboración propia a partir de información secundaria.*

En algunos casos se recomienda el cultivo en asocio con maíz, tomate, pimiento, etc. Este sistema se recomienda cuando las plantaciones se establecen en laderas⁸ y se aplica únicamente en parcelas pequeñas o familiares. Pero, en grandes extensiones comerciales, es necesario plantarlo como monocultivo, especialmente por las implicaciones en las labores agronómicas.

Cosecha: El fruto se recolecta cuando está verde amarillento y, generalmente, contiene 3 semillas. El Piñón empieza a producir después de los 6 meses de sembrado y llega a su grado óptimo de producción a los 4-6 años.

Se han comenzado experimentaciones para la mecanización parcial de la cosecha a través de métodos de agitación, las que, por el momento, se encuentran en fase de desarrollo. La fragilidad de la planta y el florecimiento continuo dificulta este proceso ya que en una misma rama existen frutos maduros en la base, frutos verdes en medio y flores en el tope.

Experiencias previas de cultivo

Existe poca información científica y estadística sobre los rendimientos del piñón, manejo del cultivo y el proceso agroindustrial. A su vez, parte de la información existente contiene poca sustentación científica.

Tradicionalmente se ha cultivado en regiones de Asia y África para la producción artesanal de jabón y aceite para lámparas o estufas. En América Latina se han tenido algunas experiencias con el cultivo en países como Belice, Guatemala, Honduras, Nicaragua, entre otros.

⁸ En suelos con pendientes y con cultivos en franjas o hileras, contribuye al control de la erosión y mejora la retención de humedad en el suelo.

En Belice se realizó un proyecto de reforestación mixta utilizando piñón, pero no se contó con infraestructura para la utilización de las semillas. La producción de frutos fue poca dada la competencia por luz y nutrientes que existía en esas regiones reforestadas.

En Nicaragua, el proyecto Tempate, que inició en 1991, tenía como finalidad investigar sobre el cultivo y el establecimiento de plantaciones de piñón y una planta de extracción de aceite para la fabricación de biodiésel. El proyecto no tuvo éxito y los agricultores volvieron a sus cultivos tradicionales⁹. El fracaso se atribuyó, entre otras razones, a la mala administración del proyecto, la deficiente planificación (cosecha e infraestructura agroindustrial), poca integración de los agricultores al proyecto, sobre estimación de los rendimientos y las ganancias.

En Guatemala, desde 2002, la empresa Octagon, con apoyo de la Alianza en Energía y Ambiente, inició sus actividades en investigación de Piñón. Ha realizado el cultivo con cierta tecnificación al incluir equipo para selección, vivero, descascarillado, etc. En el tercer año de cultivo se reportaron rendimientos de semilla seca¹⁰ de 90 quintales por manzana con riego y de 142.5 sin riego (equivale a 5.9 y 9.3 ton/ha respectivamente). A su vez, posee una planta para la producción de biodiésel desde 2005. Y ha realizado experimentaciones en el uso de energía geotérmica y biodigestores para la reducción de costos.

Producción agrícola y rendimiento de biocombustibles

La información existente, mucha de ella sin sustento científico, muestra grandes variaciones en el rendimiento del cultivo, lo que hace difícil contar con una estimación confiable. Lo anterior puede llevar a hacer extrapolaciones peligrosas del rendimiento, sin considerar las condiciones de suelo, agua, fertilizaciones y distanciamientos.

En el anexo 2 se presenta información de rendimientos obtenida de diversas fuentes. A continuación se presentan rendimientos incluidos en un estudio de *Jatropha World*¹¹, que goza de mayor confiabilidad.

9 Hartlieb Euler y David Gorriz (2004). Case Study: "Jatropha Curcas" 2004. Comisionado. GTZ y GFU (Global Facilitation Unit for Underutilized Species). p. 18.

10 En el contexto de este estudio se define semilla seca como aquella que contiene la almendra y la cáscara (sin incluir la pulpa del fruto).

11 (www.jatrophaworld.org. Centre for Jatropha Promotion & Biodiesel).

Cuadro 2a. Rendimientos de piñón por año con irrigación y sin irrigación, semillas secas en ton/ha

Años	Sin irrigación			Con irrigación		
	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto
Año 1	0.10	0.25	0.40	0.75	1.25	2.50
Año 2	0.50	1.00	1.50	1.00	1.50	3.00
Año 3	0.75	1.25	1.75	4.25	5.00	5.00
Año 4	0.90	1.75	2.25	5.25	6.25	8.00
Año 5	1.10	2.00	2.75	5.25	8.00	12.50

Fuente: Centre for Jatropha Promotion & Biodiesel.

En futuros apartados, se tomarán como valores de referencia los indicados en el cuadro 2b, el cual se elaboró con base en los casos bajo y medio (con irrigación y sin irrigación) del cuadro 2a.

Cuadro 2b. Rendimiento de semillas secas

Rendimientos de semillas en ton/ha	
Rendimientos sin irrigación	1.10 - 2.00
Rendimientos con irrigación	5.25 - 8.0

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Contenido de aceite por semilla: Este se estima entre 33% y 37%. Se considera un contenido de 35% de aceite en semilla seca para estimar los rendimientos de aceite¹².

El rendimiento de aceite por hectárea, considerando 90% de eficiencia por extracción mecánica y 100%¹³ por solventes, es el siguiente:

Cuadro 3. Rendimientos de aceite, en ton/ha por tipo de extracción

Casos	Mecánica	Solventes
Rendimiento sin irrigación	0.35 - 0.63	0.39 - 0.70
Rendimiento con irrigación	1.65 - 2.52	1.84- 2.80
A un 35% de aceite en semilla seca		

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

12 El contenido de aceite en las semillas puede variar por una serie de factores, se escogió 35% sólo como número de referencia para estimar valores de subproductos, costos, etc.

13 Véase introducción para conocer las bases de estos valores.

Uso de subproductos

Uno de los subproductos del piñón es la torta resultante de la extracción; ésta contiene 56.4% de proteínas y entre 1-1.5% de grasa¹⁴, por lo que se puede utilizar como sustrato para biogás y fertilizante orgánico. Se considera que la aplicación de este fertilizante mejora notablemente el rendimiento de las plantaciones.



Se estima un valor de US\$ 50/ton para el fertilizante¹⁵.

También se ha experimentado la desintoxicación de la torta para su uso en alimentación animal, pero hasta el momento sólo se ha realizado a escala de laboratorio¹⁶.

Las cáscaras de las semillas y la pulpa del fruto se pueden utilizar como combustible para uso en calderas, en procesos que emplean calor como la misma producción de biodiésel, en algunos procesos industriales o, en el área rural, para cocinar.

Utilizando los rangos de referencia mínimos y máximos del cuadro 2b, se estima la siguiente producción de subproductos:

Cuadro 4. Producción de subproductos, en ton/ha

Subproducto	Mín	Máx	valor comercial
Pulpa de fruto	0.59	4.31	n.a
Cáscara de semillas	0.39	2.81	n.a
Torta	0.30	2.18	50 US\$/ton

Fuente: *Elaboración propia a partir de información secundaria.*

14 Klaus Becker (2007). Monographic Conference on Jatropha Curcas. España.

15 E. Francis y K. Becker (2005). A concept for simultaneous wasteland reclamation, fuel production, and socio-economic development in degraded areas in India: Need, potential and perspectives of Jatropha plantations. *Natural Resources Forum* 29 (1), 12-24. Se estima el precio de venta de la torta en 0.05 por kilogramo.

16 Información obtenida recientemente por SNV muestra que en ensayos de laboratorio con ratas realizados en Nicaragua se han descubierto efectos cancerígenos hasta la quinta generación, aún habiéndose eliminado curcina y otros tres elementos tóxicos.

Acceso a energía

Para el acceso a energía se toma en cuenta la producción de aceite, así como los subproductos que se generen del cultivo. En el cuadro 5 se observa el poder calorífico de los productos y en el cuadro 6 el potencial de energía que se puede generar por hectárea.

Cuadro 5. Poder calorífico

Producto	Mín	Máx
Aceite	41,580	302,400
pulpa de fruto	8,588	62,462
cáscara semilla	7,447	54,159
Torta	5,452	39,648

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Cuadro 6. Energía potencial por hectárea, en MJ/ha

Producto	Poder calorífico
Aceite	37.8 MJ/kg
pulpa de fruto	19.3 MJ/kg DM
cáscara semilla	14.5 MJ/kg DM
Torta	18.2 MJ/kg DM

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Diversas fuentes mencionan el uso de la torta para la producción de biogás; sin embargo, existe poca información sobre los rendimientos.

Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero

Se estima que cada tonelada de biodiésel tiene un potencial de reducción de 2.45 tCO₂, luego una hectárea de piñón en su madurez de producción (considerando extracción mecánica) generaría las siguientes reducciones de CO₂:

Generación de biodiésel por hectárea: 0.35 a 2.52 toneladas biodiésel/año.

Reducciones de CO₂ por producción de biodiésel por hectárea: 0.86 a 6.17 tCO₂/año.

Sin embargo, Klaus Becker¹⁷ estima una reducción de emisiones de 5.4 tCO₂ por hectárea para la producción de biodiésel. Él también estima que para un período de 21 años se pueden producir 20 toneladas de aceite de piñón y esto equivale a 46 tCO₂.

Reducciones de CO₂ por biomasa: Becker estima que para un período de 21 años el carbono secuestrado por la reforestación de una hectárea cultivada de piñón equivale a 55 tCO₂.

Requerimientos de mano de obra

La información de mano de obra para el cultivo tampoco es muy conocida. El piñón demanda mano de obra de forma intensiva, por lo que puede ser una fuente de empleo en zonas rurales.

Se analizó información de algunos planes de negocios y proyecciones de mano de obra en Centroamérica (anexo 4), para estimar valores conservadores de los requerimientos de mano de obra durante el inicio de la plantación y el año 6, cuando el cultivo está en la plenitud de la producción.

Cuadro 7. Requerimiento de mano de obra, en días-hombre por hectárea

Actividad	Año 1	Año 6
Plantación	50	-
Mantenimiento	50	45
Cosecha	5	51
Total	105	96

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Ingresos para el agricultor

El libro *Árboles de Centroamérica* señala que la época de cosecha es entre los meses de julio y octubre. No se han estimado las ganancias del agricultor por no contar con información confiable de ingresos por hectárea.

Costo de establecimiento por hectárea:

Los datos preliminares sugieren un rango entre los 1,000 y 1,100 US\$/ha, pero hay que recordar que las fuentes provienen de estimaciones.



17 Klaus Becker (2007). Monographic Conference on Jatropha Curcas. España.

Cuadro 8. Costo de establecimiento por hectárea

Costo de la plantación de piñón		
US\$/ha	País de referencia	
1,171	Perú	(1)
1,000	Panamá	(2)
1,095	El Salvador	(3)

Fuentes: (1) GTZ. *Guía de Producción Piñón (Jatropha curcas)*.

(2) Intracorp. Estudio de Factibilidad de la Producción Nacional de Biocombustibles, Panamá.

(3) Luis Machuca. Desarrollo de Biodiésel en El Salvador. Tesis Costos de biodiésel y aceite vegetal (PPO).

Para estimar los costos se presentan 2 casos. En el caso 1, condiciones en la India, se emplean los supuestos de Francis y Becker (2005)¹⁸.

El costo de extracción se estimó en US\$ 19.6 y el de transesterificación en US\$ 125.94 por tonelada de aceite. La eficiencia de conversión a biodiésel es de 92%¹⁹.

Las semillas secas se compran a un precio de 0.11 US\$/kg y se les puede extraer un 28% de aceite (Atribuible a métodos de extracción en India).

La torta es el subproducto del proceso y se vende como fertilizante orgánico, generando ingresos netos de 0.05 US\$/kg.

Cuadro 9. Costos de biodiésel y aceite vegetal supuestos para India (2005)²⁰

Costos del producto	Sin subproducto	Con subproductos
Aceite vegetal US\$/ton	412.4	370
Biodiésel US\$/ton	585.16	538.52
Biodiésel US\$/litro	0.51	0.47

Fuente: *Elaboración propia a partir de información secundaria.*

18 E. Francis y K. Becker (2005). *Op cit.* p. 20.

19 La conversión de aceite vegetal a biodiésel no es una relación uno a uno. Sin embargo, mientras en alguna literatura se menciona que se obtiene menor volumen de biodiésel que de aceite, en otra es todo lo contrario. Debido a lo anterior, se optó por una posición conservadora con una eficiencia menor de 100%.

20 Los resultados difieren de los presentados por Francis y Becker (2005), ya que no se han tomado todos los supuestos de ese estudio. En el anexo 5 se presenta un detalle de los supuestos y resultados.

En el caso 2 se toma el precio de compra de una planta piloto en El Salvador durante 2006, el cual fue de US\$ 10 por quintal, equivalente a 0.23 US\$/kg de semilla. Se mantienen los supuestos del caso 1, excepto los siguientes:

El porcentaje de extracción real es de 31.5%, asumiendo 35% de aceite en semillas y un 90% de eficiencia de extracción mecánica.

La eficiencia de conversión de aceite a biodiésel se establece en 98% (Van Gerpen, *et ál.* 2004)²¹.

Cuadro 10. Costos de biodiésel y aceite vegetal, precio de 0.23 US\$/kg

Costos del producto	Sin subproducto	Con subproductos
Aceite vegetal US\$/ton	749.9	707
Biodiésel US\$/ton	893.66	849.93
Biodiésel US\$/litro	0.79	0.75

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

21 Matthew Johnston (2006). Evaluating the Potential for Large-Scale Biodiesel Deployments in a Global Context. University of Wisconsin-Madison.

Abreviaturas

CENTA:	Centro Nacional de Tecnología Apropriada
CO₂:	dióxido de carbono
COL\$:	pesos colombianos
DQO:	Demanda Química de Oxígeno
ha:	hectárea
kg:	Kilogramo
Kwh:	Kilowatt hora
lt:	litro
MAG:	Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador
MDL:	Mecanismo de Desarrollo Limpio
MJ/kg DM:	Mega Joule por kilogramo materia seca
MJ/kg:	Mega Joule por kilogramo
MJ:	Mega Joule
mm:	milímetros
msnm:	metros sobre el nivel del mar
N₂O:	óxido nitroso
qq:	quintales
R\$:	reales (Brasil)
tCO₂:	toneladas de dióxido de carbono
TM	tonela métrica
ton:	tonelada
UNFCCC:	Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático

Bibliografía

Becker, Klaus (2007). Monographic Conference on *Jatropha Curcas*. España.

Centre for *Jatropha* Promotion & Biodiesel (www.jatrophaworld.org).

CATIE. *Árboles de Centroamérica* (http://herbaria.plants.ox.ac.uk/adc/downloads/capitulos_especies_y_anexos/jatropha_curcas.pdf).

Euler, Hartlieb y Gorriz, David (2004). Case Study: “*Jatropha Curcas*”. Comisionado. GTZ y GFU (Global Facilitation Unit for Underutilized Species).

FACT (2007). Position Paper on *Jatropha Curcas*. State of the Art, Small and Large Scale Project Development (Paper).

Francis, E. y Becker, K. (2005). A concept for simultaneous wasteland reclamation, fuel production, and socio-economic development in degraded areas in India: Need, potential and perspectives of *Jatropha* plantations. *Natural Resources Forum* 29 (1), 12–24.

Jongschaap, Corré, Bindraban y Brandenburg (2007). Claims and Facts on *Jatropha Curcas* L. Plant Research International Wageningen.

Johnston, Matthew (2006). Evaluating the Potential for Large-Scale Biodiesel Deployments in a Global Context. University of Wisconsin-Madison.

Anexo 1: Cálculo de reducción de emisiones de efecto invernadero para biodiésel

Para estimar la reducción de emisiones de CO₂ se utilizó parcialmente la metodología AM0047 del UNFCCC¹ (por sus siglas en inglés): *Production of biodiesel based on waste oils and/or waste fats from biogenic origin for use as fuel --- Version 2.*

La metodología fue aprobada para su uso en proyectos de biodiésel a partir de aceites usados. No toma en cuenta el uso de aceites vírgenes ya que estos producen óxido nitroso (N₂O) en la etapa agrícola, lo cual presenta una diferencia con respecto a los aceites usados. Sin embargo, es posible que se desarrolle una nueva metodología para aceites vírgenes que tome como base la presente, agregando cómo calcular el componente de N₂O. Este debe ser tomado en cuenta en el cálculo de emisiones en la conversión de aceites vírgenes, ya que cada tonelada de N₂O es equivalente a 310 tCO₂ que se generan adicionalmente. El cálculo de emisiones por este componente va más allá del alcance del estudio.

La metodología calcula las emisiones de CO₂ que se dan por las siguientes actividades:

1. Cálculo de emisiones de la línea base, que son las emisiones que se darían en ausencia del proyecto.
2. Cálculo de emisiones por la actividad del proyecto, que incluye 4 componentes:
 - CO₂ emitido por el consumo de combustible fósil en la planta de producción de biodiésel.
 - CO₂ emitido por el consumo de electricidad en la planta de producción de biodiésel.
 - CO₂ proveniente de la combustión del carbón fósil contenido en el metanol, el que es químicamente unido al biodiésel en el proceso de esterificación y liberado en la combustión.
 - CO₂ del transporte de los aceites usados al sitio del proyecto y del biodiésel cuando se lleva a donde la mezcla tiene lugar.

1 United Nations Framework Convention on Climate Change.

3. Estimación de las fugas del proyecto; es decir, aquellas emisiones que son externas al proyecto pero atribuibles a él y, por tanto, deben considerarse. Se estiman 2 tipos de fugas:

- Emisiones asociadas con la producción de metanol utilizado para esterificación.
- Desplazamiento de los usos existentes de aceites usados que pueden resultar en un incremento en la demanda de combustible fósil en otro lado.

Para calcular la reducción en emisiones de los cultivos en estudio, sólo se toman en cuenta los siguientes componentes:

- Las emisiones de la línea base (sustitución del diésel fósil por biodiésel).
- El CO₂ proveniente de la combustión del carbón fósil contenido en metanol.
- Emisiones asociadas con la producción de metanol usado para esterificación.

El resto de los componentes no se toman en cuenta porque dependen de las condiciones de producción específicas del lugar.

Utilizando la metodología se dan las siguientes reducciones:

- Emisiones de la línea base: 2.78 tCO₂/ton biodiésel (Reducción por la sustitución de diésel).
- CO₂ proveniente de la combustión del carbón fósil contenido en metanol: 0.1375 tCO₂/ton biodiésel.
- Emisiones asociadas con la producción de metanol usado para esterificación: 0.195 tCO₂/ton biodiésel.

Luego la reducción de emisiones neta: $2.78 - 0.1375 - 0.195$.

Factor de reducción de emisiones: 2.45 tCO₂/ton biodiésel.

Este es el factor predeterminado para el cálculo de reducción de emisiones de los cultivos en estudio.

Anexo 2

Con el fin de contar con una aproximación a posibles rendimientos de piñón, se presentan los siguientes datos. Se consideró, en la medida de lo posible, la densidad de la plantación (ya que esta afecta el rendimiento por la competencia de nutrientes y recursos de las plantas), el rendimiento en el año de siembra y otras condiciones de las observaciones.

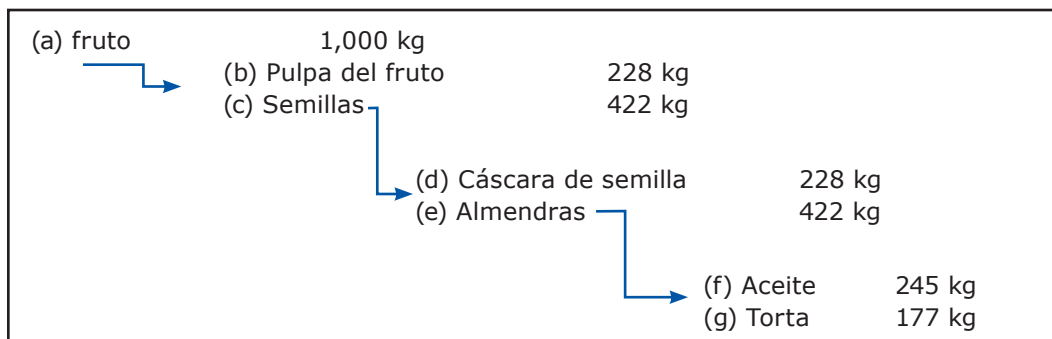
Rendimientos por hectárea (Semillas secas en toneladas por ha)

País y condiciones del cultivo	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Brasil. 833 plantas. Irrigación por goteo (Mattana Saturnino, 2005). [x]	0.335				
India. 1,667 plantas, suelos marginales. A los 2.5 años (Gosch, 2007). [x]			1.45		
India. 833 plantas, tierra con altos nutrientes y precipitación de 800 mm. (Patolia). [x]		1.27			
India. 1,200 plantas, se asumen datos para tierras no utilizadas. [e]	0.444	1.1	1.3	1.556	1.556
Guatemala. 2,500 plantas, tecnificado (selecc, viveros, etc.), sin irrigación. [x]			5.9		
Guatemala. 2,500 plantas, tecnificado (selecc, viveros, etc.), con irrigación. [x]			9.3		
Guatemala. 2,500 plantas, tecnificado (selecc, viveros, etc.) fertilizantes, irrigación 800 mm 6 meses, y precipitación 4000 mm 6 meses (Barillas, Octagon S.A). [x]	1.25				
México, 1,111 plantas [e]			3.34	4	5
Un rendimiento promedio con buenos suelos y precipitación de 900-1200 mm. [e]					5
6 a 8 TM fruto fresco/ha (*) (Handbook of Energy Crops). [e]					0.9-1.2
Indonesia 2,500 plantas. Precipitación 2000 mm y suelos ricos en materia orgánica. [x]	4-5				
Nicaragua. Mejores tierras (N. Foidl). [x]				4.5	
(*) Se convirtió el fruto fresco a semilla seca a una relación de 15% (este porcentaje depende del grado de madurez en que fue cosechado el fruto).					
[e] Los datos se basan en estimaciones y cálculos de los autores.					
[x] Los datos se basan en observaciones experimentales.					

Como se observa en la tabla, hay muchas diferencias dependiendo de las condiciones del cultivo y, en algunos casos, se desconoce si los valores se refieren a semillas secas o húmedas.

Anexo 3: Subproductos

Composición del fruto de *Jatropha curcas*



Fuente: Adaptado de K. Becker. Conference on *Jatropha Curcas*.

Si se toma como base las semillas secas, es posible estimar el porcentaje de producción de subproductos por cada unidad de semilla seca que se produce:

Subproductos (% de producción por cada unidad de semilla seca)

Cálculo	Subproducto	%
h (b/c)	Cáscara de cápsulas	54
i (d/c)	Cáscara de semillas	35
j (f/c)	Aceite	38
k (g/c)	Torta	27

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Si se toman los valores mínimos y máximos del cuadro 2b, (1.2 y 5.9 ton/ha) y utilizando la tabla previa, la cantidad de subproductos es la siguiente:

Producción de subproductos

Producción en ton/ha	Mín	Máx.
Cáscara de cápsulas	0.65	3.18
Cáscara de semillas	0.42	2.07
Torta	0.33	1.61

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Anexo 4: Requerimiento de mano de obra

Para tener un valor de requerimiento de mano de obra en el cultivo de piñón, se tomó información de algunos planes de negocios, proyecciones para algunos países de Centroamérica, con lo que se obtuvo valores de referencia considerando las variaciones entre los diferentes valores.

Datos para requerimiento de mano de obra por empresa observada (todos en días-hombre)*

Empresa en Centroamérica 1	Año 1	Año 6
Plantación	50	
mantenimiento	21	n.d
cosecha	3	n.d
indirectos	8	n.d

Literatura. Claim and facts on Jatropha Curcas L	Año 1	Año 6
mantenimiento y cosecha (Sharma & Sarraf 2007)	22	70

Empresa en Centroamérica 2	Año 1	Año 6
Siembra	50	
Mantenimiento	55	55

Empresa en Centroamérica 3	Año 1	Año 6
Plantación (se compran las plantas)	25	
mantenimiento	46	35
cosecha	5	51

*Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Tomando los números más conservadores de la información anterior, se realizó el siguiente cuadro.

Requerimientos de mano de obra en días-hombre		
	Año 1	Año 6
Plantación	50	
Mantenimiento	50	45
Cosecha	5	51

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Anexo 5: Cálculos de costo de aceite y biodiésel

Caso 1

Francis y Becker toman en cuenta los siguientes supuestos:

- Se obtiene un 28% extracción de semillas que equivale a 3,571 tonelada de semilla por tonelada de aceite.
- Las semillas tienen un precio de 0.11 \$/kg.
- Costo de extracción de \$ 19.6 por tonelada de aceite.
- Un costo de proceso de \$ 251,874 para una planta de proceso de 2,000 toneladas y para uniformizar los cálculos se estimó un valor de 195.74 por tonelada procesada. $(251,874/2,000)$.
- Un precio de la torta para fertilizante de 0.05 \$/Kg como subproducto.
- Eficiencia de conversión a biodiésel 92%.

No se toman en cuenta las ganancias del proceso de extracción.

a	Precio de venta de semillas	0.11	kg
b	1 ton aceite (a un 28% extracción) equivale a	3,571	kg de semilla
c	Costo de extracción	19.60	\$/ton aceite
d	Costo proceso para 2,000 ton aceite	251,874	\$/2,000 ton aceite
e	Costo proceso para 1 ton (d/2,000)	125.94	\$/ton aceite
f	Precio de venta torta	0.05	\$/kg

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Con los cuales se estiman los siguientes costos:

Costo de aceite vegetal \$/ton		
h (a x b)	Costo primo	392.8
b	Costo de extracción	19.6
i	Costo de aceite vegetal	412.4

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Costo de biodiésel \$/ton		
i	Costo de aceite vegetal	412.4
e	Costo del proceso (transesterificación)	125.9
j (i+e)	Total costos material y proceso	538.3
k(j/0.92)	Costo de ton biodiésel (*)	585.16

(*) Se asume un 92% eficiencia en conversión.

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Costo biodiésel por litro \$/lt		
$l(k/1,136.4)$	Costo de biodiésel por litro (*)	0.51
(*) Una ton de biodiésel equivale a 1,136.4 litros.		

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Ingreso por subproductos		
Datos y supuestos		
m	1.000	ton semilla seca equivale a
$n (m \times 0.35 \times 0.9)$	0.315	ton aceite (a 35% aceite y 90% extracción)
o (1/n)	3.175	ton. Semilla/ton aceite
p	0.270	torta por ton. Semilla
q (o x p)	0.857	ton torta/ton aceite
r (f x q)	42.857	Ingresos por subproductos por ton. Aceite

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Costo de aceite vegetal con subproductos \$/ton		
i	Costo de aceite vegetal	412
r	(-) Ingreso por subproducto	43
	Total	370

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Costo de biodiésel con subproductos (\$/ton)		
j	Total costos material y proceso	538.3
r	(-) Ingreso por subproducto	42.85714
s(j+r)	Total	495.4
$t(s/0.98)$	Costo de ton biodiésel (*)	538.52
(*) Se asume un 92% eficiencia en conversión.		

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Costo de biodiésel en \$/litro		
$u(j/1136.4)$	Costo de biodiésel por litro (*)	0.47
(*) Una ton de biodiésel equivale a 1,136.4 litros		

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Caso 2

Los supuestos de este caso buscan trabajar con algunos de los datos que se han utilizado en los otros apartados y un precio de compra que se dio en una planta piloto en El Salvador.

Supuestos:			
a	Precio de venta de semillas	0.23	\$/kg
b	1 ton aceite (a un 28% extracción de aceite)	3,175	kg de semilla
c	Costo de extracción	19.6	\$/ton aceite
d	Costo proceso para 2,000 ton aceite	251,874	\$/ton aceite
e	Costo proceso para 1 ton (d/2,000)	125.937	\$/ton aceite
f	Precio de venta torta	0.05	\$/kg

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Con los cuales se estiman los siguientes costos:

Costo de aceite vegetal \$/ton		
h (a x b)	Costo primo	730.3
b	Costo de extracción	19.6
i	Costo de aceite vegetal	749.9

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Costo de biodiésel \$/ton		
i	Costo de aceite vegetal	749.9
e	Costo del proceso (transesterificación)	125.9
j (i+e)	Total costos material y proceso	875.8
k(j/0.98)	Costo de ton biodiésel (*)	893.66

(*) Se asume un 98% eficiencia en conversión.

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Costo biodiésel por litro \$/lt		
l(k/1,000/0.88)	Costo de biodiésel por litro (*)	0.79

(*) Una ton de biodiésel equivale a 1,136.4 litros.

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Y usando los mismos supuestos del caso 1 para el ingreso de subproductos:

Costo de aceite vegetal con subproductos \$/ton		
i	Costo de aceite vegetal	750
r	(-) Ingreso por subproducto	43
Total		707

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Costo de biodiésel con subproductos (\$/ton)		
j	Total costos material y proceso	875.8
r	(-) Ingreso por subproducto	42.85
s(j+r)	Total	832.9
t(s/0.98)	Costo de ton biodiésel (*)	849.93

(*) Se asume un 98% eficiencia en conversión.

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Costo de biodiésel en \$/litro		
u(t/1,136.4)	Costo de biodiésel por litro (*)	0.75

(*) Una ton de biodiésel equivale a 1,136.4 litros.

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.



Módulo I:
Piñón

Este módulo forma parte de la serie
**Cultivos para la producción
sostenible de biocombustibles**



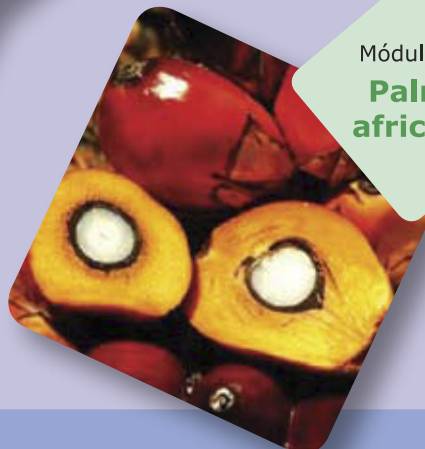
Módulo II:
Higuerillo



Módulo III:
Jícara



Módulo V:
**Caña
de azúcar**



Módulo IV:
**Palma
africana**

El uso de la bioenergía se plantea como una opción con muchas posibilidades de desarrollo para la región latinoamericana.

Con el objetivo de sistematizar la información y difundir conocimientos sobre la producción de biocombustibles, se ha elaborado un conjunto de módulos descriptivos donde se presentan las características de cultivos que se pueden utilizar en la producción de aceite, biodiésel y etanol.

Los módulos incluyen información de las siguientes plantas: piñón o tempate (*Jatropha curcas* L), higuerrillo (*Recinus communis* L), jícara (*Crescentia alata*), palma africana (*Elaeis guineensis*) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).

El Servicio Holandés de Cooperación al Desarrollo SNV, con la intención de promover los negocios inclusivos y contribuir a la disminución de la dependencia de los combustibles fósiles, ha decidido apoyar los esfuerzos orientados a la producción de bioenergía que complemente las necesidades energéticas de la región.



Servicio Holandés de Cooperación al Desarrollo SNV
Col. Matamoros, Avenida La Paz, Casa 2716
Tegucigalpa, Honduras, Centroamérica
Apartado Postal No. 15025, Col. Kennedy
Tel. (504) 236-9233 / 7915 / 5597
Fax (504) 236-5713 / 9669
E-mail: honduras@snvworld.org
www.snvworld.org / www.snv-la.org