

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

Módulo II: **Higuerillo**



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

Higuerillo / 5

- Características generales / 5
- Experiencias previas de cultivo / 6
- Producción agrícola y rendimiento de biocombustibles / 7
- Uso de subproductos / 8
- Acceso a energía / 8
- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero / 9
- Requerimientos de mano de obra / 9
- Ingresos para el agricultor / 10
- Costos de biodiésel y aceite vegetal (PPO) / 11

Abreviaturas / 12

Bibliografía / 13

Anexos / 14

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 complementa 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 consideran 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 se debe estimar 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 t CO_2 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 t CO_2 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 un agricultor puede obtener 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 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 están dados 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.

Higuerillo

Características generales

Nombre científico:

Ricinus communis L.

Nombres comunes: higuerillo, higuerilla, higuereta, tártago (español); castorbean, castor oil plant, ricin, wonder tree, palma christi (inglés); mamona (portugués).



Es un arbusto perteneciente a la familia *Euphorbiaceae* y puede medir hasta 5 metros de altura. En algunas regiones es considerado como maleza por su fácil propagación, crece en lugares rocosos y terrenos abandonados, es resistente a las sequías y es de fácil adaptabilidad.

Sus semillas contienen ricina, una proteína tóxica, soluble en agua, similar a la curcina del piñón (*Jatropha curcas L.*)⁴. Aunque la semilla es la principal fuente de la toxina, el resto de la planta también se puede considerar tóxica⁵. El aceite que se extrae de las semillas se conoce como aceite de ricino o aceite de castor (castor oil, en inglés).

Tipos de suelo para el cultivo: La planta crece bien en suelos profundos y bien drenados, ni alcalinos ni salinos⁶. Se recomienda un pH de 6, pero se puede cultivar en terrenos con un pH en un rango de 5 a 8.

El higuerillo, contrario a lo que se cree, es muy exigente en fertilidad del suelo, por lo que se debe utilizar fertilizantes orgánicos y minerales para obtener buena productividad. En Estados Unidos se utilizan de 45 a 135 kg de nitrógeno por hectárea y en la India⁷ un promedio de 89 kg/ha.

Requerimientos de agua: Es deseable una precipitación mínima de 500 mm⁸, pero una mayor precipitación o el uso de irrigación aumentan la productividad. Resiste a las sequías por períodos prolongados, pero se afectan el peso y el aceite de las semillas.

Clima: El cultivo crece en todas las regiones tropicales y subtropicales. Para su siembra se recomienda que las estaciones lluviosa y seca estén bien marcadas,

4 Otros tóxicos que contiene el higuerillo son el alcaloide ricinina y un alérgeno.

5 (<http://www.vet.purdue.edu/depts/addl/toxic/plant11.htm>).

6 James Duke (1983). Handbook of Energy Crops (inédito).

7 James Duke. *Op. cit.*

8 Severino Soares, *et ál.* (2006). El Agronegocio del Cultivo de Tártago en el Mundo. Circular técnica.

dado que en la primera de ellas se da el crecimiento vegetativo y en la segunda se favorece la maduración del fruto⁹. El higuerrillo crece preferentemente en temperaturas cálidas entre los 20 y 30 grados centígrados. Las alturas adecuadas rondan entre los 40 y los 1000 msnm.

Arquitectura del cultivo: La propagación del higuerrillo se realiza por semilla. Los distanciamientos varían dependiendo de si la cosecha se realiza de forma mecanizada o manual.

Cuadro 1. Distanciamiento y densidad

Higuerrillo				
Distanciamiento (m)	2.5 x 1	3 x 1	2 x 2	3 x 2
Densidad plantas/ha	4,000	3,333	2,500	1,666

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

En Brasil se tiene experiencia de asociación de cultivo con maíz y frijol. Asimismo, se han hecho experimentaciones de cultivo intercalado con café y piñón.

Cosecha: Los meses de cosecha para las regiones del hemisferio Norte son normalmente entre diciembre y marzo. Se recomienda cosechar los frutos cuando todos estén secos, pero antes de que se abran para no perder las semillas.

Experiencias previas de cultivo

El aceite de ricino tiene usos industriales o farmacéuticos. Su utilidad principal ha sido como ingrediente básico para la producción de nylon, lubricantes de motor, grasas automotrices, pinturas, jabones y derivados medicinales, farmacéuticos¹⁰ o cosméticos.

Brasil es el principal referente en cuanto a la experiencia de uso del aceite de higuerrillo como materia prima para biodiésel. En este país se promueve su uso para este fin, especialmente se estimula a pequeños agricultores en la zona norte de ese país. Para el año 2007 se esperaba que la producción de higuerrillo fuera de 7,716 toneladas; sin embargo, fue de sólo 5,615 toneladas¹¹.

Colombia también ha tenido algunas experiencias de producción de biodiésel a partir del aceite de higuerrillo; sin embargo, la principal materia prima utilizada en ese país es el aceite de palma.

9 (<http://www.tartagal.gov.ar/plan-de-desarrollo-local/tartago-en-misiones-2.html>).

10 Tomado de la base de datos de Interactive European Network for Industrial Crops and their Application.

11 (<http://www.biodieselbr.com/noticias/em-foco/ceara-elevar-producao-mamona-2008-03-11-07.htm>).

Producción agrícola y rendimiento de biocombustibles

El higuierillo es cultivado en varios países para la producción de aceite de ricino. El mayor productor es la India y le siguen China, Brasil y Paraguay. En el cuadro 2 se presentan algunos rendimientos para América Latina y en el cuadro 3 los rendimientos de la planta de acuerdo a las condiciones de irrigación.

Cuadro 2. Estadísticas de rendimientos

País	ton/ha
Ecuador	1.27
Paraguay	1.17
Brasil	0.82
Haití	0.54
México	0.5

Fuente: FAO Statistics (Promedios 2002-2006).

Cuadro 3. Rendimientos según condiciones de cultivo, en ton/ha

Condiciones	(A)	(B)
Bajo riego	0.9 - 1	1.5 - 1.8
Condiciones secas		1 - 1.2
Inadecuada humedad	0.3 - 0.4	

Fuentes: (A) Handbook of energy crops.

(B) Development of castor bean in France.

Con propósitos de referencia en futuros apartados se toman los siguientes valores, considerando las estimaciones del cuadro 3:

Cuadro 4. Rendimientos de semilla

Rendimientos de semilla en ton/ha	
Rendimiento regular del cultivo	0.8 - 1
Rendimiento bueno del cultivo	1.5 - 1.8

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Contenido de aceite por semilla: El porcentaje de aceite depende mucho de la variedad de las semillas y de las condiciones del cultivo (agua, fertilizantes, etc.), por lo que el rendimiento puede variar entre el 35% y el 55%. En Brasil, se estima un valor de entre el 45% y el 50%. En las secciones siguientes se toma como valor de referencia un 47% de aceite en las semillas.

Considerando un 90% de eficiencia de extracción por el método mecánico y un 100% por solventes, el rendimiento por hectárea es el siguiente:

Cuadro 5. Rendimientos por tipo de extracción, en ton/ha

Casos	Mecánica	Solventes
Rendimiento regular del cultivo	0.34 - 0.42	0.38 - 0.47
Rendimiento bueno del cultivo	0.63 - 0.76	0.71 - 0.85
47% de aceite en semilla.		

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Uso de subproductos

La torta de las semillas es uno de los subproductos del higuerrillo que resulta del proceso de extracción. Ésta no se puede emplear como alimento animal, a menos que se le extraiga el componente tóxico, por lo que su principal uso es como fertilizante, ya que contiene alrededor de 20.5% de proteína y un 6.6% de nitrógeno¹², similar a la torta de piñón y al estiércol de gallina. También se puede utilizar para la generación de biogás¹³. La cáscara se puede emplear como combustible para generar calor en calderas, fabricar pellets u otros.



La producción de subproductos basada en los rangos de referencia del cuadro 4 es la siguiente:

Cuadro 6. Producción de subproductos de higuerrillo, en ton/ha

Subproducto	Mín	Máx	Valor comercial
Cáscaras	0.5	1.13	n.a
Torta ¹⁴	0.42	0.95	50 US\$/ton

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Acceso a energía

Para el acceso a energía se toma en cuenta la producción del aceite, así como los subproductos que se generen del cultivo. El valor energético de los productos y el potencial por hectárea se presentan a continuación:

12 James Duke. *Op. cit.*

13 Sin embargo, no fue posible obtener información para cuantificar la generación de biogás.

14 El valor comercial se estimó como fertilizante a un precio igual al de la torta de piñón (0.05 US\$/kg).

Cuadro 7. Poder calorífico de productos de higuerrillo, en MJ/kg (materia seca)

Producto	Mín	Máx
Aceite	31,600	71,100
Cáscaras	8,033	18,075
Torta	6,784	15,264

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Cuadro 8. Energía potencial por hectárea, en MJ/ha

Producto	Poder calorífico
Aceite	39.5 MJ/kg
Cáscaras (*)	16 MJ/kg DM
Torta (*)	16 MJ/kg DM

(*) Se utilizó un valor de 16 que es un promedio de poder calorífico para residuos vegetales.

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero

La producción de higuerrillo puede generar reducciones de emisiones de CO₂ por el uso de biodiésel como sustituto del diésel fósil. Al valor predeterminado de reducciones de 2.45 tCO₂ por tonelada de biodiésel, una hectárea de higuerrillo generaría los siguientes beneficios:

Generación de biodiésel por hectárea: 0.34 a 0.76 toneladas de biodiésel /año (con extracción mecánica).

Reducciones de CO₂ por hectárea: 0.83 a 1.86 tCO₂/año.

Requerimientos de mano de obra

Para calcular los requerimientos de mano de obra se tomó como referencia el estudio de factibilidad del cultivo de higuerrillo en El Salvador¹⁵, el que hace estimaciones para una manzana. Se consideraron las necesidades convirtiendo los valores a hectáreas.

15 Héctor Mayorga (2007). Estudio de factibilidad técnica y financiera del cultivo del Higuerrillo como fuente de materia prima para la elaboración de biocombustibles en El Salvador. Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador.

Cuadro 9. Requerimiento de mano de obra, en días-hombre/ha

Rubro	Anual
Plantación	17
Mantenimiento	26
Cosecha	14
Total	57

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Ingresos para el agricultor

De acuerdo con un estudio de costos en Colombia, el cultivo del higuierillo no es rentable si los rendimientos son menores a 2 toneladas por ha y el precio de venta es menor a 500 pesos por kilo (esto es US\$ 0.23 por kilo a un tipo de cambio de 2,126 COL\$/US\$). "Si se toman en cuenta los rendimientos reportados por productores en Colombia de 6 a 8 ton/ha¹⁶ y un precio de 500 pesos/kilo, el cultivo sería escasamente rentable. Un pequeño productor requeriría 3 hectáreas de higuierillo para obtener 2 salarios mensuales¹⁷".



En Brasil, se estima que una familia que cultiva 5 hectáreas de higuierillo, con un rendimiento de 700 a 1,200 kg/ha, puede tener ingresos entre los R\$ 2,500 y R\$ 3,500¹⁸, lo que equivale a 247 y 348 US\$/ha (tipo de cambio: 2.02 R\$/US\$).

En El Salvador, se estima el ingreso en US\$ 131 por manzana a una producción de fruto de 73 US\$/qq¹⁹. Si se extrapolan estos valores a hectáreas, el ingreso sería alrededor de US\$ 189 y la producción de 4.7 ton/ha de fruto, equivalente a 2.9 ton/ha de semilla.

Costo de establecimiento por hectárea: En el estudio de factibilidad del higuierillo en El Salvador, se establece un costo de US\$ 318 por manzana que equivaldría a US\$ 456 por hectárea. En Brasil se mencionan costos por hectárea entre R\$ 600 y 700²⁰, que equivaldrían a US\$ 272 y US\$ 347, respectivamente (tipo de cambio: 2.02).

16 Con excepción de la presentación de Biofuels Consulting para el Ministerio de Minas y Energía de Colombia, donde se obtuvo la información, no se encontraron reportes de rendimientos tan altos del higuierillo. Pero se incluyó dado que ellos consideran que, a pesar de esos rendimientos, el cultivo en Colombia es poco rentable.

17 Biofuels Consulting (2007). Desarrollo y consolidación del mercado de biocombustibles en Colombia (presentación).

18 Ministry of Agriculture, Livestock and Food Supply, Secretariat for Production and Agroenergy (2006). Brazilian Agroenergy Plan 2006-2011.

19 Héctor Mayorga (2007). *Op. cit.*

20 (http://www.varginha.mg.gov.br/projeto_mamona/reportagens.php).

Costos de biodiésel y aceite vegetal (PPO)

Para calcular los costos del biodiésel se tomaron los valores utilizados para el piñón: costo de extracción 19.6 US\$/ton y costo de transesterificación 125.94 US\$/ton, asumiendo que para ambos cultivos se utilizarían procesos similares.

En El Salvador, en el año 2006, una planta piloto de biodiésel compró la semilla de higuerrillo a 10 US\$/qq, lo que equivaldría a 0.23 US\$/kg. Este es el valor de referencia para el caso 1.

Algunos portales de internet mencionan que empresas como Higueroil en Colombia pagan los precios de semilla de higuerrillo a precios entre los 600 y los 700 pesos por kilo (0.28 – 0.33 US\$/kg) por lo que, para el caso 2, se tomó un precio de referencia de 0.33 US\$/kg.

En ambos casos se utilizan los mismos supuestos con la diferencia del precio de semilla.

Cuadro 10. Higuerrillo, costos de biodiésel y aceite vegetal

Costos del producto	Sin subproductos		Con subproductos	
	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2
Aceite vegetal US\$/ton	563	800	501	737
Biodiésel US\$/ton	703	945	639	881
Biodiésel US\$/litro	0.62	0.83	0.56	0.77

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

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

Base de datos de Interactive European Network for Industrial Crops and their Application.

Biofuels Consulting. (2007). Desarrollo y consolidación del mercado de biocombustibles en Colombia (presentación).

Duke, James. (1983). Handbook of Energy Crops. (inédito).

Mayorga, Héctor (2007). Estudio de factibilidad técnica y financiera del cultivo del Higuierillo como fuente de materia prima para la elaboración de biocombustibles en El Salvador. Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador.

Ministry of Agriculture, Livestock and Food Supply, Secretariat for Production and Agroenergy. (2006). Brazilian Agroenergy Plan 2006-2011.

Soares, Severino, *et ál.* (2006) El Agronegocio del Cultivo de Tártago en el Mundo (circular técnica).

(<http://www.biodieselbr.com/noticias/em-foco/ceara-elevar-producao-mamona-2008-03-11-07.htm>).

(<http://www.tartagal.gov.ar/plan-de-desarrollo-local/tartago-en-misiones-2.html>).

(<http://www.vet.purdue.edu/depts/addl/toxic/plant11.htm>).

(http://www.varginha.mg.gov.br/projeto_mamona/reportagens.php).

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 que 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, 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.
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.

1 United Nations Framework Convention on Climate Change.

- 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.
- Las 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 obtienen 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.

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

Anexo 2: Producción de higuierillo

Principales productores Promedio 2002-2006 en tm (semillas)

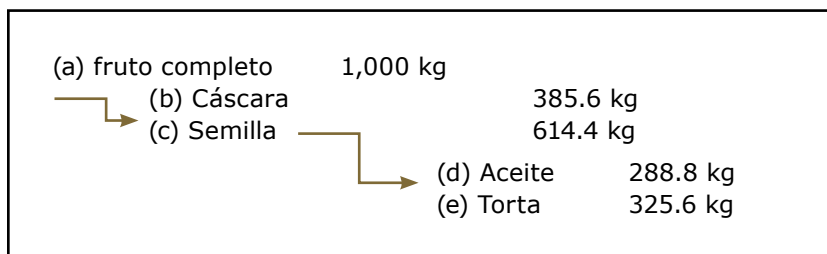
Mundo		Latinoamérica	
India	748,600	Brasil	130,891
China	252,600	Paraguay	9,909
Brasil	130,891	Ecuador	2,866
Etiopía	15,000	Haití	1,280
Tailandia	10,050	México	1,000

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Anexo 3: Subproductos de higuierillo

Datos:

Conversión de fruto a semilla: 0.6144 (factor establecido en Brasil)² % de aceite en semilla: 47%. Con los valores anteriores se puede estimar la composición del higuierillo:



Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

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

Cálculo	Subproducto	%
f (b/c)	Cáscara	63
	Aceite	47
	Torta	53

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

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

Si se toman los valores mínimos y máximos del cuadro 4, (0.8 y 1.8 ton/ha) y utilizando la tabla previa, la cantidad de subproductos es la siguiente:

Subproducto	Mín	Máx
Cáscaras	0.5	1.13
Torta	0.42	0.95

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

2 Citado por Héctor Mayorga (2007). Estudio de factibilidad técnica..., *op. cit.*, p. 18.

Anexo 4: Requerimientos de mano de obra

La información presentada se basa en un estudio de factibilidad técnica para la producción de higuierillo del Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador.

Los supuestos son los siguientes:

- Se cultiva a una densidad de 2.5 x 1 m
- No se realiza irrigación
- La conversión de los valores a hectáreas presume que las necesidades de mano de obra aumentarían proporcionalmente al pasar de manzanas a hectáreas.

BASES PARA COSTOS DE PRODUCCIÓN			
MAQUINARIA	Costo/Unidad	Unidad	Cantidad
Paso de rastra	US\$ 22.00	Paso	1
Paso de arado	US\$ 28.00	Paso	1
MANO DE OBRA	Cantidad	Unidad	Veces
Limpia con herbicida	1	Jornal	2
Limpia manual	4	Jornal	2
Siembra	2	Jornal	1
Fertilización	2	Jornal	2
Aplicación herbicidas	2	Jornal	1
Control manual de malezas	2	Jornal	2
Aplicación de pesticidas	2	Jornal	2
Raleo y aporco	4	Jornal	1

Fuente: Tomado de Estudio de factibilidad técnica y financiera del cultivo de Higuierillo (Ricinus communis L.) como fuente de materia prima para la producción de combustibles alternativos en El Salvador.

Se asume que las labores de limpia y siembra son a la plantación y el resto a labores de mantenimiento. En el estudio se toma el costo de cosecha en 40.11; considerando el costo de jornal utilizado de US\$ 4, se puede estimar 10 jornales para la recolección.

Necesidades de mano de obra en manzanas

	Cantidad	Unidad	Veces	Días hombre
Plantación				12
Limpia con herbicida	1	Jornal	2	2
Limpia manual	4	Jornal	2	8
Siembra	2	Jornal	1	2
Mantenimiento				18

Continúa →

	Cantidad	Unidad	Veces	Días hombre
Fertilización	2	Jornal	2	4
Aplicación herbicidas	2	Jornal	1	2
Control manual de malezas	2	Jornal	2	4
Aplicación de pesticidas	2	Jornal	2	4
Raleo y aporco	4	Jornal	1	4

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Necesidades de mano de obra en días hombre por hectárea

Rubro	Manzana	Hectárea
Plantación	12	17
Mantenimiento	18	26
Cosecha	10	14
Total	40	57

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Anexo 5: Costos de aceite vegetal y biodiésel*

Supuestos:

a	Precio de venta de semillas caso 1	0.23	US\$/kg
a	Precio de venta de semillas caso 2	0.33	US\$/kg
b	1 ton aceite (47% aceite y 90% extracción)	2,364	kg de semilla
c	Costo de extracción	19.60	US\$/ton aceite
d	Costo proceso para 2000 ton aceite	251,874	US\$/2000 ton aceite
e (d/2000)	Costo proceso para 1 ton (d/2000)	125.94	US\$/ton aceite
f	Precio de venta torta	0.05	US\$/kg
g	Eficiencia de conversión biodiésel	98%	

Costo de aceite vegetal US\$/ton		Caso 1	Caso 2
h (a x b)	Costo primo	543.7	780.1
b	Costo de extracción	19.6	19.60
i	Costo de aceite vegetal	563.3	799.7

*Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Costo de biodiésel US\$/ton		Caso 1	Caso 2
i	Costo de aceite vegetal	563.3	799.7
e	Costo del proceso (transesterificación)	125.9	125.94
j (i+e)	Total costos material y proceso	689.3	925.7
k(j/0.98)	Costo de ton biodiésel (*)	703.34	944.57
	(*) Se asume un 92% eficiencia en conversión		

Costo biodiésel por litro US\$/lt		Caso 1	Caso 2
l(k/1136.4)	Costo de biodiesel por litro (*)	0.62	0.83
(*) Una ton de biodiésel equivale a 1,136.4 litros			

Ingreso por subproductos: Datos y supuestos

m	1.000	ton semilla seca equivale a
n (m x 0.35 x 0.9)	0.423	ton aceite (a 47% aceite y 90% extracción)
o (1/n)	2.364	ton semilla/ton aceite
p	0.530	torta por ton semilla
q (o x p)	1.253	ton torta/ton aceite
r (f x q)	62.648	Ingresos por subproductos por ton aceite

Costo de aceite vegetal con subproductos US\$/ton		Caso 1	Caso 2
i	Costo de aceite vegetal	563	800
r	(-) Ingreso por subproducto	63	63
	Total	501	737

Costo de biodiésel con subproductos (US\$/ton)		Caso 1	Caso 2
j	Total costos material y proceso	689.3	925.7
r	(-) Ingreso por subproducto	63	63
s(j+r)	Total	626.6	863.0
t (s/0.98)	Costo de ton biodiésel (*)	639.41	880.64
(*) Se asume un 92% de eficiencia en conversión			

Costo de biodiésel en US\$/litro		Caso 1	Caso 2
u (t/1,136.4)	Costo de biodiésel por litro (**)	0.56	0.77
(*) Una ton de biodiesel equivale a 1,136.4 litros			



Módulo II:
Higuierillo

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



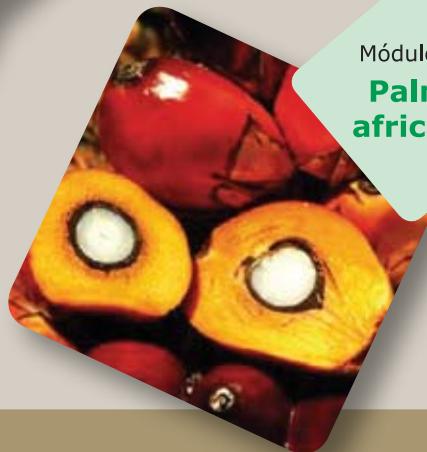
Módulo I:
Piñón



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