

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

Módulo IV: **Palma africana**



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

Palma africana / 5

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

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 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.*), higuierillo (*Recinus communis L.*), jícara (*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.

En el caso del aceite y del biodiésel, 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%

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

(Sha, *et ál.*, 2004 y 2005). Con propósitos de evaluación se toman valores de 90% para la extracción mecánica 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 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 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.

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.

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 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 para 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.

Palma africana

Características generales

Nombre científico:

Elaeis guineensis

Nombres comunes: Palma aceitera, palma africana (español); oil palm, African oil palm (inglés); dendê (portugués)



La palma aceitera, conocida también como palma africana, es una palmera tropical que crece en climas cálidos en la franja ecuatorial de la Tierra. Puede crecer entre los 8.3 y 20 metros de altura, pero también se conocen variedades de menor tamaño. Perteneció al género *Elaeis*, junto con otras dos especies: la palma americana o noli (*E. oleifera*) y el corozo (*E. odora*)⁴.

De la palma africana se obtiene aceite de dos fuentes: del fruto (mesocarpio) y de la almendra. Al primero se le conoce como aceite de palma propiamente dicho, el segundo es el aceite de almendra o palmiste; ambos tienen propiedades físicas y químicas diferentes.

Tipos de suelo: El cultivo de la palma africana requiere suelos francos o franco-arcillosos, sueltos y profundos. Deben ser suelos de topografía plana o ligeramente ondulada con buena permeabilidad y drenaje. El nivel de fertilidad debe ser de medio a alto⁵.

Requerimientos de agua: La palma africana necesita grandes cantidades de agua, los rangos óptimos de precipitación anual se encuentran entre los 2000-2500 mm, bien distribuidos durante todo el año y ningún mes menor a los 100 mm⁶. Se puede complementar con irrigación para alcanzar un mínimo de 150 mm por mes.

Clima: El hábitat de la palma africana es desde sabanas hasta bosques lluviosos. Las temperaturas máximas promedio en las que crece son de 29 a 33 grados centígrados y las mínimas de 22 a 24 grados centígrados.

Arquitectura del cultivo: La población óptima se estima en 143 plantas por hectárea, con distanciamientos de 9 por 7.8 m. En algunas regiones de África se realizan plantaciones de 138 plantas/ha, pero con parcelación triangular.

4 (www.wikipedia.org).

5 Ruperto Raygada Zambrano (2005). Manual Técnico para el Cultivo de la Palma Aceitera.

6 Paramanathan (2003)., citado por Ruperto Raygada Zambrano. *Op. cit.*

Cosecha: La propagación se realiza por semilla. El ciclo de producción empieza al tercer año, alcanza el máximo de producción entre los 7 y los 10 años. La recolección es manual y se realiza, generalmente, una vez por semana. Los racimos se deben recolectar cuando poseen el grado de madurez correcto.

Experiencias previas de cultivo

Tradicionalmente el aceite de palma africana ha sido usado para la fabricación de aceites, margarinas y jabones, entre otros. También se puede utilizar como combustible para motores estacionarios adaptados y últimamente se emplea como materia prima para la producción de biodiésel debido a su costo y buen rendimiento. La Política Europea 2003/30/EG promovió que los países de la Unión Europea tuvieran un 2% de participación de biocombustibles en el mercado de combustibles fósiles para 2005.

Esto permitió un gran crecimiento de la demanda del aceite de palma para la fabricación de biodiésel, debido a su precio menor con respecto a otros aceites. En Colombia, el aceite de palma es la principal materia prima para la producción de biodiésel.



En América Latina los principales productores de aceite de palma son Colombia, Ecuador, Costa Rica, Honduras y Guatemala. En el ámbito mundial, Malasia e Indonesia son los mayores productores y Colombia fue el quinto mayor productor en el año 2006.

Producción agrícola y rendimiento de biocombustibles

En el año 2004, los rendimientos de las plantaciones de los principales productores de América Latina fueron los siguientes:

Cuadro 1. Rendimiento del fruto de palma africana Países de América Latina

País	ton/ha
Guatemala	28.1
Nicaragua	25
Honduras	24
Colombia	18.7
Perú	17.6
Costa Rica	14.3

Fuente: FAO Statistics. Promedios (2002-2006).

Rendimiento del aceite: Los frutos poseen un rendimiento de aceite entre el 20 y el 25%⁷.

Los rendimientos de aceite de palma en 2004 para algunos de estos países fueron: Costa Rica 3.95 ton/ha, Colombia 3.58 ton/ha y Honduras 3.10 ton/ha. El promedio mundial se ubicó en 3.46 ton/ha⁸.

Para efectos de estudio, se analizan 2 tipos de rendimiento⁹: uno bueno de 25 ton/ha de fruto de palma y otro promedio de 18 ton/ha.

Asumiendo un 20% de aceite y un 90% de eficiencia por extracción mecánica y 100% por solventes, el rendimiento de aceite por hectárea sería:

Cuadro 2. Rendimientos de aceite de palma, en ton/ha por tipo de extracción

Casos	Mecánica	Solventes
Rendimiento promedio por hectárea	3.6	3.96
Buen rendimiento por hectárea	5.0	5.5

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Uso de subproductos

Del procesamiento del fruto se obtienen 2 productos: el aceite crudo de palma y el palmiste (almendra o nuez). Para la producción de biodiésel generalmente se utiliza el aceite crudo de palma (ACP), luego el palmiste es el principal subproducto del cual se obtiene el aceite del mismo nombre y la torta, la que sirve como alimento animal. En 2004, el aceite de palmiste tuvo un precio en Colombia de 706 US\$/ton; este precio se utiliza de referencia, aunque actualmente el precio del aceite de palmiste se encuentra en valores de 1,115 US\$/ton (CIF Rotterdam)¹⁰.



Otros subproductos del procesamiento son los racimos vacíos (EFB por sus siglas en inglés) y los efluentes del proceso de extracción (POME, en inglés), los cuales, generalmente, se reciclan en la plantación como fertilizantes orgánicos. Para el POME, es necesario aplicar un tratamiento previo, ya sea en lagunas de oxidación o en una planta de biogás.

7 SENER/BID/GTZ (2006). Potenciales y Viabilidad del Uso de Bioetanol y Biodiesel para el Transporte en México.

8 World Annual Oil, citado por ANIAME. La Palma de Aceite en el mundo.

9 La categorización en rendimientos bueno y promedio es subjetiva, el único propósito es tener un marco de referencia sobre posibles rangos para futuros apartados.

10 (www.fedepalma.org), al 8 de diciembre de 2007.

Cuadro 3. Producción de subproductos de palma africana, en ton/ha

Subproducto	Mín	Máx	Valor comercial
Aceite de palmiste (PKO)	0.36	0.50	706 US\$/ton
Torta de palmiste	0.45	0.63	n.a
Racimos vacíos de fruta (EBF)	4.68	6.50	n.a
Efluentes (POME)	1.6	2.3	n.a

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Acceso a energía

Los principales productos del cultivo y su valor energético son los siguientes:

Cuadro 4. Poder calorífico productos de palma africana

Producto	Poder calorífico
Aceite	37 MJ/kg
Racimos vacíos de fruta	6 MJ/kg
Fibras	10 MJ/kg
Cáscaras de semillas	18.8 MJ/kg

Fuentes: Weindorf (2007) y Chandran (2006).

La energía potencial generada por los productos de palma africana por hectárea se presenta a continuación:

Cuadro 5. Energía potencial por hectárea en MJ/ha

Producto	Mín	Max
Aceite	131,868	203,500
Racimos vacíos de fruta	28,080	39,000
Fibras	21,600	30,000
Cáscaras de semillas	60,912	84,600

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Los efluentes del procesamiento del aceite de palma se pueden utilizar para la producción de biogás. Se estima que se producen 14.4 m³ de biogás por cada tonelada de fruto de palma¹¹.

11 M.R Chandran (2006). *Op. cit.*

Cuadro 6. Producción de biogás y energía de efluentes de palma africana

Producto	Mín	Máx
Biogás m ³ /ha	259	360
Electricidad kwh/ha (36% eficiencia)	625	868
E. térmica kwh/ha (40% eficiencia)	695	965

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Reducción de emisiones de efecto invernadero

El biodiésel fabricado con aceite de palma reducirá las emisiones al reemplazar al diésel fósil. Se estima que por cada tonelada de biodiésel producida, se evitan 2.45 tCO₂. Sin embargo, en este valor no se toma en cuenta el aumento en las emisiones por N₂O en la fertilización ni el CO₂ producido por maquinarias, transporte, etc.

Generación de biodiésel por hectárea: 3.6 a 5 ton/ha

Reducciones de CO₂ por hectárea: 8.82 a 12.25 ton/ha

En el caso de la palma, la reducción de emisiones es cuestionada ya que, según algunos informes, para su cultivo se destruyen zonas boscosas, lo que causa un aumento en las emisiones de CO₂ debido al carbono que deja de ser secuestrado por esos bosques¹². Sin embargo, si los nuevos cultivos de palma se hacen en tierras degradadas o no ocupadas, habrá un efecto positivo en la reducción de emisiones.

Ingresos para el agricultor

Lazcano estima un rendimiento promedio para el agricultor, en México, de 2,657 pesos por hectárea, equivalente a 248 US\$/ha (tipo de cambio: 10.7 pesos/US\$)¹³.

En Brasil se estima una renta probable de 1,349 R\$/ha, que equivale a 682.9 US\$/ha (tipo de cambio: 2.02 R\$/US\$)¹⁴.

Costo de establecimiento por hectárea: La inversión para establecer una hectárea de palma africana se estima en 13,543 pesos mexicanos, para las

12 Estos aspectos han provocado una gran preocupación a diversos grupos ecologistas y en Europa se discute la creación de un certificado de sostenibilidad para materias primas.

13 Ignacio Lazcano. La producción de biocombustibles en México (http://www.agroetanol-biocombustible.com.mx/mexico_biodisel.html).

14 Edna de Cássia Carmélio. El Sello Social en El Programa de Biodiesel de Brasil. Conference 2006. Gobierno de Brasil. Seminario de OLADE.

condiciones de México en el año 2006, que equivalen a US\$ 1,265 (tipo de cambio: 10.7 pesos/US\$)¹⁵.

La Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite en Colombia, estima que el costo de plantación de palma por hectárea ronda entre los 1,950 y 2,550 dólares.

Requerimientos de mano de obra

Para las condiciones de Colombia, se presentan los requerimientos de mano de obra en una hectárea. Esta información proviene de una encuesta realizada en 2005 a 10 empresas del sector palmero en Colombia.

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

Actividad	Año 0 y 1	Año 2 y 3	Año 4-6	Año 7
Plantación	4			
Mantenimiento	1.3	8.8	8.5	8.7
Cosecha			14.8	17.8
Total	6	9	23	27

Fuente: Adaptado de Armando Corredor Ríos (2005). Estudio de actualización de costos de producción de aceite de palma en Colombia.

Costos de biodiésel y aceite vegetal (PPO)

A fin de tener una visión sobre los costos del aceite vegetal y biodiésel, se presentan los casos de México y Colombia. Los datos de México se basan en los supuestos del "Estudio de factibilidad de biocombustibles en México para 2006"; la información de Colombia proviene del "Estudio de actualización de costos de producción de aceite de palma en Colombia, 2005".

Para determinar el costo del biodiésel se ha estimado un costo de transesterificación de 125 US\$/ton y una eficiencia de conversión a biodiésel del 98%.

15 Palmas Oleaginosas de Acapetahua SPR de RI, citado por Ignacio Lazcano Martínez.

Cuadro 8. Costos de biodiésel y aceite vegetal supuestos para México

Costos del producto	Sin subproducto	Con subproductos
Aceite vegetal US\$/ton	306	207
Biodiésel US\$/ton	441	340
Biodiésel US\$/litro	0.39	0.30

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Cuadro 9. Costos de biodiésel y aceite vegetal supuestos para Colombia

Costos del producto	Sin subproducto	Con subproductos
Aceite vegetal US\$/ton	487	442
Biodiésel US\$/ton	625.4	579.1
Biodiésel US\$/litro	0.55	0.51

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Abreviaturas

CENTA:	Centro Nacional de Tecnología Apropriada
CO₂:	dióxido de carbono
COLUS\$:	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
RUS\$:	reales (Brasil)
tCO₂:	toneladas de dióxido de carbono
TM	tonela métrica
ton:	tonelada
UNFCCC:	Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático

Bibliografía

de Cássia Carmélio, Edna. El Sello Social en El Programa de Biodiésel de Brasil. Conference 2006. Gobierno de Brasil. Seminario de OLADE.

Chandran, M.R. (2006). Sustainability of Malasyan Palm Oil Industry: Challenges and Opportunities (Conference). Biomass Asia Forum Japan.

Lazcano, Ignacio. La producción de biocombustibles en México. (http://www.agroetanol-biocombustible.com.mx/mexico_biodisel.html).

Raygada Zambrano, Ruperto (2005). Manual Técnico para el cultivo de la Palma Aceitera.

SENER/BID/GTZ (2006). Potenciales y Viabilidad del Uso de Bioetanol y Biodiésel para el Transporte en México.

Weindorf, Werner (2007) Bioenergie am Beispiel Palmöl – Klimakiller? (Presentación) Münchner Pflanzenöltage. München.

World Annual Oil, citado por ANIAME. La Palma de Aceite en el mundo.

(www.wikipedia.org).

(www.fedepalma.org).

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 biodiésel 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 atribuible a él y, por tanto, se deben considerar. Se estiman 2 tipos de fugas:
 - Emisiones asociadas con la producción de metanol usado 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.

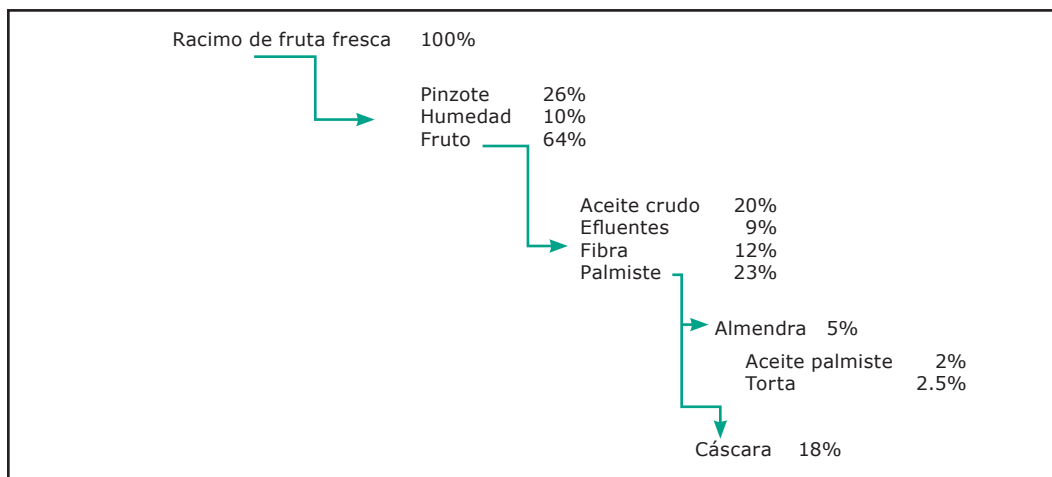
Luego, la reducción de emisiones neta: $2.78 - 0.1375 - 0.195$

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

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

Anexo 2: Composición del fruto de palma y subproductos

Composición del fruto de palma



Fuente: Adaptado de E. Vargas y M. Zumbado (2001). Composición de los subproductos de la industrialización de la Palma Africana utilizados en la alimentación animal en Costa Rica. Universidad de Costa Rica.

Utilizando los porcentajes de la composición del fruto y junto con los rangos de 18 y 25 toneladas de fruto por hectárea, se puede establecer la siguiente producción de subproductos por hectárea:

Subproducto	Mín	Máx.
Aceite de Palmiste (PKO)	0.36	0.50
Torta de Palmiste	0.45	0.63
Racimos vacíos de fruta (EBF)	4.68	6.50
Efluentes (POME)	1.6	2.3

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Anexo 3: Costos de biodiésel y aceite vegetal

Se tomaron 2 escenarios de costos. México y Colombia. El caso de México se basa en los supuestos de Ignacio Lazcano en "Potenciales y Viabilidad del Uso de Bioetanol y Biodiésel para el Transporte en México", 2006. Supuestos:

- La tonelada de fruta fresca se establece en 487 pesos mexicanos.
- 5 toneladas de fruta fresca equivalen a una tonelada de aceite (es decir 20% de extracción).
- Cada tonelada de aceite produce 155 kg de aceite de palmiste, el cual tiene un precio de 6.80 pesos por kilogramo.
- El costo de extracción es de 839 pesos.
- El resto de supuestos son los anteriormente utilizados en otros cultivos.

a	1 tonelada de aceite	5	ton fruta fresca
b	Precio de tonelada de fruta fresca (487 pesos)	45.51	US\$ ton fruta fresca
c	Aceite de palmiste por tonelada de aceite	155	kg Palmiste/ton aceite
d	Costo de extracción de aceite (839 pesos)	78.40	US\$/ton aceite
e	Precio del aceite de palmiste (6.80 pesos/kg)	0.636	US\$/kg
f	Costo proceso para 1 ton	125.94	US\$/ton aceite
g	eficiencia de conversión biodiésel	98%	
z	1 tonelada de biodiésel es equivalente	1,136.4	litros biodiésel

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Costo de aceite vegetal US\$/ton		Caso 1
h (a x b)	Costo primo	227.6
d	Costo de extracción	78.4
i	Costo de aceite vegetal	306.0

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Costo de biodiésel US\$/ton		Caso 1
i	Costo de aceite vegetal	306.0
f	Costo del proceso (transesterificación)	125.9
j (i+f)	Total costos material y proceso	431.9
k(j/g)	Costo de ton biodiésel (*)	440.70

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

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Costo biodiésel por litro US\$/lt		Caso 1
l(k/z)	Costo de biodiésel por litro (*)	0.39

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

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Costo de aceite vegetal con subproductos US\$/ton		Caso 1
i	Costo de aceite vegetal	306
m (c x e)	(-) Ingreso por subproducto	99
n	Total	207

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Costo de biodiésel con subproductos (US\$/ton)		Caso 1
j	Total costos material y proceso	431.9
m	(-) Ingreso por subproducto	99
n(j+m)	Total	333.3
o(n/g)	Costo de ton biodiésel (*)	340.11

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

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Costo de biodiésel en US\$/litro		Caso 1
p(o/z)	Costo de biodiésel por litro (**)	0.30

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

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Para el caso de Colombia, toda la información se tomó del Estudio de actualización de costos de producción de aceites de palma en Colombia. Los datos se refieren al año 2005 y fueron los siguientes:

- Costo de fruto por tonelada de aceite: US\$ 433
- Costo de extracción de aceite por tonelada: US\$ 54
- Ingresos por Palmiste: En este caso se tomó un promedio de los ingresos de las 5 zonas productoras, el cual se convirtió al tipo de cambio utilizado en el estudio: 45.4 US\$/ton aceite de palma.
- El resto de supuestos son los anteriormente utilizados en otros cultivos.

a	Costo fruto por tonelada de aceite	433	US\$/ ton aceite
b	Costo de extracción de aceite	54	US\$/ton aceite
c	Ingresos de Palmiste por tonelada de aceite	45.4	US\$/ton aceite
d	Costo proceso para 1 ton	125.94	US\$/ton aceite
e	Eficiencia de conversión biodiésel	98%	
f	1 tonelada de biodiésel es equivalente	1,136.4	litros biodiésel

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Costo de aceite vegetal US\$/ton		Caso 2
a	Costo primo	433
b	Costo de extracción	54
g	Costo de aceite vegetal	487

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Costo de biodiésel US\$/ton		Caso 2
g	Costo de aceite vegetal	487
d	Costo del proceso (transesterificación)	125.9
h(g+d)	Total costos material y proceso	612.9
i(h/e)	Costo de ton biodiésel (*)	625.45

(*) Se asume un 98% eficiencia en conversión

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Costo biodiésel por litro US\$/lt		Caso 2
j(i/f)	Costo de biodiésel por litro (*)	0.55
(*) Una ton de biodiésel equivale a 1136.4 litros.		

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Costo de aceite vegetal con subproductos US\$/ton		Caso 2
g	Costo de aceite vegetal	487
c	(-) Ingreso por subproducto	45
k	Total	442

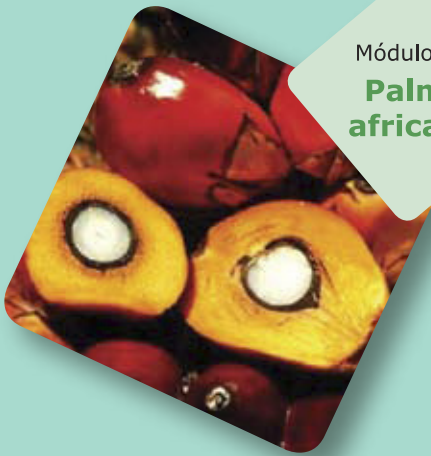
Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Costo de biodiésel con subproductos (US\$/ton)		Caso 2
h	Total costos material y proceso	612.9
c	(-) Ingreso por subproducto	45
l(c+h)	Total	567.5
m(l/e)	Costo de ton biodiésel (*)	579.12
(*) Se asume un 98% eficiencia en conversión.		

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Costo de biodiésel en US\$/litro		Caso 2
n(m/f)	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.



Módulo IV:
**Palma
africana**

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



Módulo I:
Piñón



Módulo II:
Higuero



Módulo III:
Jícara



Módulo V:
**Caña
de azúcar**

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), higuierillo (*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