

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

Módulo V:
**Caña
de azúcar**



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

Caña de azúcar / 5

- Características generales / 5
- Experiencias previas de cultivo / 6
- Producción agrícola y rendimiento de biocombustibles / 6
- Uso de subproductos / 8
- Acceso a energía / 9
- Reducción de emisiones de efecto invernadero / 10
- Ingresos para el agricultor / 10
- Requerimientos de mano de obra / 11
- Costos de etanol / 12

Abreviaturas utilizadas / 13

Bibliografía / 14

Anexos / 15

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 bionergía 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 biocombustibles, 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.

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).

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

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 tCO₂ por tonelada de biodiésel³.

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 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.

Caña de azúcar

Características generales

Nombre científico:

Saccharum officinarum

Nombres comunes: Caña de azúcar, caña miel, caña dulce (en español); sugar cane, noble cane, white salt (en inglés).



Es una gramínea tropical perenne con tallos gruesos y fibrosos que pueden crecer entre 3 y 5 metros de altura. Éstos contienen una gran cantidad de sacarosa que se procesa para la obtención de azúcar. La caña de azúcar es uno de los cultivos agroindustriales más importantes en las regiones tropicales.

Tipos de suelo: Se adapta a casi cualquier tipo de suelo, pero se desarrolla mejor en suelos francos, profundos y bien drenados. Se prefieren suelos con un pH de 7⁴, pero se puede cultivar en un rango de 5.5 a 7.8.

El cultivo demanda altos requerimientos nutricionales en consideración a la alta cantidad de materia verde y seca que produce, situación que agota los suelos y hace necesario un adecuado programa de fertilización. Sin embargo, es muy eficiente en el aprovechamiento de la luz solar.

Requerimientos de agua: La caña de azúcar requiere grandes cantidades de agua, aunque también es relativamente eficiente en su uso. La precipitación mínima es de 1500 mm por temporada. Si la precipitación no es suficiente para cubrir esa cantidad, se puede utilizar irrigación.

Clima: La caña de azúcar se cultiva en los climas tropicales y subtropicales, desarrollándose mejor en climas calientes y con mucha exposición solar. Generalmente se cultiva a una altura entre los 0 y 1000 msnm. Requiere de un clima húmedo caliente, alternando con períodos secos y temperaturas entre los 16 y 30 grados centígrados⁵.

Cosecha: La propagación de la caña de azúcar se realiza por estaca. La cosecha conocida también como zafra se puede hacer de forma mecanizada como manual. Por cada plantación generalmente se extraen 4 ó 5 cortes (cosechas) y luego se realiza la renovación del cultivo.

4 Universidad Agraria La Molina. Ficha técnica de la caña de azúcar (<http://www.lamolina.edu.pe/negocios/Bases/FICHACan.html>).

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

Experiencias previas de cultivo

El cultivo de la caña de azúcar está muy difundido en el continente americano debido a las condiciones climáticas, las cuales propician su producción. Algunos países en América Latina han tenido experiencias previas en el uso de etanol. El principal referente es Brasil, que se ha convertido en el mayor productor de etanol a partir de la caña de azúcar.



En 1975, Brasil inició el programa Proálcool como una respuesta a la crisis del petróleo de esa época. Mediante este programa se tomó una serie de medidas como apoyar la inversión y garantizar la demanda y los precios. En 1990, Proálcool dejó de existir como programa de Gobierno y entre 1997 y 2002 se fueron retirando los mecanismos de soporte. Actualmente, el etanol es competitivo con el combustible fósil y los ingenios dedican la mitad de la cosecha de caña a la producción de etanol⁶.

Colombia inició su programa de etanol en 2001 con la Ley 293, que establece que las gasolineras deben contener compuestos oxigenantes como los alcoholes carburantes. El programa incluyó una serie de incentivos y políticas de Estado.

En Centroamérica países como Guatemala, El Salvador y Costa Rica produjeron etanol en los años 80, pero no tuvieron éxito debido a problemas de calidad y comercialización, entre otros. Actualmente, éstos están impulsando de nuevo la producción de etanol y ya lo exportan a otros países.

Producción agrícola y rendimiento de biocombustibles

La mayoría de países en Latinoamérica cultiva la caña de azúcar para la producción de azúcar. Los principales productores son Brasil, México y Colombia.

Los rendimientos promedio de producción para los principales productores de la región se presentan en el siguiente cuadro:

**Cuadro 1. Rendimientos de caña de azúcar
Países de América Latina**

País	ton/ha
Perú	109,676
Guatemala	96,032
Colombia	91,569
Ecuador	73,715

Continúa →

6 Adaptado de Manlio Coviello (2006). Fuentes renovables de energía en América Latina: dos años después de la conferencia de Bonn, Naciones Unidas.

País	ton/ha
Brasil	73,150
México	72,724
Venezuela	70,440
Argentina	65,212
R. Dominicana	52,564
Cuba	30,788

Fuente: FAO Statistics. Promedios 2002-2006.

Para estimar la productividad, se toman de referencia 2 rendimientos:

- Un nivel de rendimiento promedio de 65 ton/ha
- Un nivel de rendimiento bueno de 85 ton/ha

La fabricación de etanol a partir de la caña de azúcar se puede realizar con cualquiera de las siguientes materias primas⁷:

- **Miel pobre (c) o melazas**, el ingenio mantiene la misma producción de azúcar y utiliza una destilería anexa para procesar las melazas agotadas que resultan del proceso de producción de azúcar para fabricar etanol.
- **Miel rica (b)**, cuando existe interés en producir más etanol, no se agotan por completo las mieles, produciendo menos azúcar y dedicando una mayor parte para el etanol.
- **Jugo directo**, en este caso se desvía el jugo de caña hasta el punto en que ya no se produce azúcar, lo que aumenta considerablemente la producción de etanol.

La cantidad de etanol producida varía según el tipo de materia prima utilizada (productividad industrial). Para tener una referencia se utilizan valores estimados según las condiciones de México con productividades de 65 y 85 ton/ha.

Cuadro 2. Rendimiento de etanol con una productividad de 65 ton/ha de caña de azúcar

Rubro	Miel pobre (c)	Miel rica (b)	Jugo directo
Productividad industrial (lt/ton caña)	8.8	17.1	80
Productividad etanol (lt/ha)	572	1,111.5	5,200
Productividad en ton etanol/ha	0.45	0.88	4.12

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

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

Cuadro 3. Rendimiento de etanol con una productividad de 85 ton/ha de caña de azúcar

Rubro	Miel pobre (c)	Miel rica (b)	Jugo directo
Productividad industrial (lt/ton caña)	8.8	17.1	80
Productividad etanol (lt/ha)	748	1,453.5	6,800
Productividad en ton etanol/ha	0.59	1.15	5.39

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Uso de subproductos

El principal producto de este cultivo ha sido comúnmente el azúcar. En este caso, el azúcar y el etanol se consideran coproductos. El volumen de azúcar variará según la materia prima utilizada en la fabricación de etanol. Con miel pobre se pueden obtener 112 kg de azúcar por tonelada de caña, mientras que con miel rica 92 kg, aunque esos valores dependen del nivel de sacarosa de la caña⁸. El precio del azúcar dependerá del precio internacional o el acceso a los mercados preferentes.



El bagazo de la caña es uno de los subproductos y se usa como fuente de energía. Por cada tonelada de caña se produce alrededor de 264 kg de bagazo (con un 50% de humedad), que se puede utilizar para la producción de energía eléctrica y calórica por medio de la cogeneración⁹.

Uno de los subproductos de la fabricación de etanol es la vinaza. Se estima que por cada litro de alcohol se producen entre 10 y 15 litros de vinaza¹⁰. La vinaza tiene una carga orgánica muy alta por lo que puede ser potencialmente contaminante si no recibe algún tipo de tratamiento. Uno de los usos que se le da es como fertilizante y también se les puede dar un tratamiento anaeróbico para la producción de biogás, el cual podría utilizarse para generación de energía eléctrica.

8 SENER/BID/GTZ (2006). *Op cit.*

9 SENER/BID/GTZ (2006). *Op cit.*

10 Ferreira y Montenegro (1987). Citado por R. Quintero, S. Cadena y C. Briceño (2006). Proyectos de investigación sobre usos y manejos de vinazas. CENGICAÑA.

Cuadro 4. Producción de subproductos de etanol 65 ton/ha de caña de azúcar

Productos	Miel pobre (c)	Miel rica (b)	Jugo directo
Azúcar (ton/ha)	7.28	5.98	0
Bagazo (ton/ha)	17	17	17
Vinazas (m ³ /ha)	5.7 - 8.6	11.1 - 16.7	52 - 78

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Cuadro 5. Producción de subproductos de etanol 85 ton/ha de caña de azúcar

Productos	Miel pobre (c)	Miel rica (b)	Jugo directo
Azúcar (ton/ha)	9.52	7.82	0
Bagazo (ton/ha)	22	22	22
Vinazas (m ³ /ha)	7.5 - 11	14.5 - 21.8	50.9 - 102

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Acceso a energía

Dado que el nivel de acceso a energía se considera para zonas rurales, éste no es el caso en la producción de etanol ya que su fabricación se realiza en los ingenios y los rendimientos de escala no permiten producir de forma descentralizada. En el caso del bagazo de caña, éste es utilizado para producir la energía requerida en el proceso de producción y, cuando es posible, se inyectan los excedentes a la red de electricidad. Una tonelada de bagazo con 50% de humedad tiene un poder calorífico de 7.64 MJ/kg¹¹.

Los rendimientos potenciales por hectárea del bagazo como energía se presentan a continuación:

Cuadro 6. Energía a partir de bagazo

Casos	MJ/ha
65 ton/ha de caña	496,600
85 ton/ha de caña	649,400

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Al procesar las vinazas para generar biogás¹², se estima un rendimiento de 0.45 m³ de biogás por kg removido de DQO. Las vinazas producidas de mieles

11 J. Reyes, R. Pérez y J. Betancourt. "Uso de la biomasa cañera como alternativa para el incremento de la eficiencia energética y la reducción de la contaminación ambiental" (Artículo). Centro de Estudios de Termoenergética Azucarera.

12 Antonio Valdes Delgado (2007). Los residuales líquidos de la producción de Alcohol. Taller gestão de energia e resíduos na agroindústria socroolcoholeira. Brasil.

pobres poseen alrededor de 65 kg de DQO. En los cálculos presentados en el anexo 1, se hace la estimación de generación de biogás para mieles pobres.

Cuadro 7. Producción de biogás y energía de vinazas de miel pobre

Producto / Caso	65 ton/ha	85 ton/ha
Biogás m ³ /ha	116.7 - 176.1	153.6 - 225.2
Electricidad kwh/ha	163 - 247	215 - 315

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Reducción de emisiones de efecto invernadero

El etanol al emplearse como sustituto de la gasolina reduciría las emisiones de efecto invernadero, ya que en la combustión del etanol se desprende CO₂ que el cultivo había secuestrado previamente, por lo que no habrían emisiones adicionales. La Agencia Internacional de Energía (IEA por sus siglas en inglés) estima que un litro de gasolina convencional genera 2.3 kg de dióxido de carbono por cada litro de gasolina generado y quemado¹³. Sin embargo, las operaciones de siembra, fertilización, transporte, etc. generan un incremento positivo de emisiones estimado en 0.2 kg de CO₂ por litro de etanol producido. La reducción neta sería de 2.1 kg de CO₂.

Cuadro 8. Reducciones de CO₂ en tCO₂/ha

Casos	Miel pobre (c)	Miel rica (b)	Jugo directo
Rendimiento de 65 ton/ha	1.2	2.3	10.9
Rendimiento de 85 ton/ha	1.6	3.1	14.3

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Ingresos para el agricultor

Los rendimientos dependen mucho de las condiciones del país. En el caso de México se estima que el agricultor puede tener un rendimiento de 61 pesos por tonelada de caña de temporal y de 111.50 pesos para caña cultivada con irrigación¹⁴. Esto equivale a 5.7 y 10.4 US\$/ton respectivamente (tipo de cambio: 10.7 en 2006).

No fue posible encontrar información para el resto de países de América Latina, pero se presentan los precios de caña pagados al productor en algunos países.

13 Intracorp (2007). Estudio de Factibilidad de la Producción Nacional de Biocombustibles. Panamá.

14 SENER/BID/GTZ (2006). *Op cit.*

Cuadro 9. Precios pagados al productor

País	US\$/ton
Costa Rica	17
El Salvador	20
Guatemala	18
R. Dominicana	20-25
Panamá	18
Honduras	18
Nicaragua	16

Fuente: Carlos Pastor. *Proyectos y Costos de Producción de Etanol a base de caña de azúcar en Centroamérica y República Dominicana. Presentación.*

Costos de establecimiento por hectárea: Estos dependen de las condiciones de cada país y de la tecnificación del cultivo. En el caso de El Salvador, para la zafra 2006-2007, se estimaron los costos por manzana no tecnificada en US\$ 783, lo que equivaldría a 1,120 US\$/ha, no se incluye el alquiler de la tierra¹⁵.

Requerimientos de mano de obra

Los requerimientos de mano de obra pueden variar si la cosecha se realiza de forma mecanizada o manual. Se presenta a continuación la mano de obra utilizada por hectárea, realizando la cosecha manualmente, con base en datos de El Salvador estimados por el CENTA.

Cuadro 10. Requerimientos de mano de obra, en días-hombre por hectárea

Actividad	Año inicial	Años (2-4)
Plantación	23	
Mantenimiento	16	28
Cosecha	40	45
Cosecha (ind.)	2	2
Total	81	75

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

15 Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador (2007). Recopilación de información sobre caña de azúcar. Zafra 2006-2007.

Costos de etanol

El estudio de factibilidad de biocombustibles en México presenta los costos de producción de etanol para los 3 casos mencionados: miel pobre (c), miel rica (b) y jugo directo, a un costo de la caña de azúcar de 22 US\$/ton.

Cuadro 11. Costos de etanol, en US\$/litro (México)

Tipo	Miel pobre (c)	Miel rica (b)	Jugo directo
Materia prima	0.26	0.21	0.27
Inversiones	0.09	0.09	0.1
Energía (*)	0	0	0
Otros	0.06	0.21	0.06
Total	0.40	0.52	0.43

Fuente: SENER. "Potenciales y Viabilidad del Uso de Bioetanol y Biodiésel para el Transporte en México".

(*) Autoabastecida con energía del bagazo.

También se presentan los costos actuales de la producción de etanol para Centroamérica y el Caribe¹⁶.

Cuadro 12. Costos de etanol para Centroamérica y el Caribe en US\$/litro

Origen de materia prima	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	República Dominicana	Panamá	Honduras	Nicaragua
100% melazas	0.35	0.38	0.355				
100% mieles							0.375
100% jugo		0.445		0.53 y 0.59	0.496	0.485	0.445
80% melaza-20% jugo	0.374						
50% melaza-50% jugo	0.41				0.42	0.427	

Fuente: Carlos Pastor. *Proyectos y Costos de Producción de Etanol...*, Op.Cit.

¹⁶ Los términos melazas y mieles son equivalentes a miel pobre (c) y miel rica (b) respectivamente.

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

Coviello, Manlio (2006). Fuentes Renovables de Energía en América Latina: dos años después de la conferencia de Bonn, Naciones Unidas.

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

Intracorp (2007). Estudio de Factibilidad de la Producción Nacional de Biocombustibles. Panamá.

Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador (2007). Recopilación de información sobre caña de azúcar. Zafra 2006-2007.

Ocampo, Aquiles (2004). Alcohol Carburante: "actualidad Tecnológica". *Revista EIA*, Universidad de Ingeniería de Antioquía, Medellín.

Pastor, Carlos (2007). Proyectos y Costos de Producción de Etanol a base de Caña de Azúcar en Centroamérica y República Dominicana. Presentación en I Feria Energética. Guatemala.

Quintero, R., Cadena, S. y Briceño, Carlos (2006). Proyectos de investigación sobre usos y manejos de vinazas. CENGICANA.

Reyes, J., Pérez, R. y Betancourt, J. Uso de la biomasa cañera como alternativa para el incremento de la eficiencia energética y la reducción de la contaminación ambiental. Artículo. Centro de Estudios de Termoenergética Azucarera (<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar05/HTML/articulo01.htm>).

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

Universidad Agraria La Molina. Ficha técnica de la caña de azúcar (<http://www.lamolina.edu.pe/negocios/Bases/FICHACan.html>).

Valdes Delgado, Antonio (2007). Los residuales líquidos de la producción de Alcohol. Taller gestão de energia e resíduos na agroindústria socroolcoholeira. Brasil.

Anexo 1: Producción de biogás

Las vinazas resultantes de la producción de etanol se pueden emplear para la fabricación de biogás. Esto se puede realizar sólo con las vinazas o agregando a su vez parte del bagazo.

La cantidad de DQO (demanda química de oxígeno) determina la cantidad de biogás que se puede producir, lo cual depende de la materia prima que se utilice. Así, el etanol producido de melazas (miel pobre) contiene un DQO promedio de 65,000 mg/l (65 kg/m³) mientras que si es de mieles vírgenes (jugo directo) puede estar entre los 15,000 y 33,000 g/l (15 y 33 kg/m³)¹.

El Ing. Antonio Valdes Delgado Phd, en su presentación "Los Residuales Líquidos de la Producción de Alcohol" (Junio 2007), estima que el rendimiento de biogás es de 0.45 Nm³/kg de DQO removido.

Considera que con el proceso de biogás se puede remover un 70% de DQO de la vinaza. También se debe diluir la vinaza a 20 kg/m³, con la adición de agua.

Con esta información y utilizando el cuadro 5, se harán los cálculos en el caso del uso de miel pobre o melazas para un rendimiento de 85 toneladas de caña por hectárea.

Productos	Miel pobre (c)	Miel rica (b)	Jugo directo
Azúcar (ton/ha)	9.52	7.82	0
Bagazo (ton/ha)	22	22	22
Vinazas (m ³ /ha)	7.5 - 11	14.5 - 21.8	50.9 - 102

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Los supuestos son los siguientes:

- Contenido de DQO: 65 kg/m³
- Cantidad de vinazas: 7.5 a 11 m³/ha
- Dilución de vinazas a 20 kg/m³: 65(7.5)=20x y 65(11)=20x
- Luego vinazas diluidas = 24.38 a 35.75 m³/ha
- Si se puede remover un 70% de DQO, 0.7 x 20 = 14 kg DQO/m³ pueden ser removidos
- Generación de biogás: 14 (0.45)(24.38)= 153.6 m³/ha y 14(0.45)(35.75) = 225.2 m³/ha
- Valdes presenta un índice de 1.4 kwh/m³ de biogás. Por lo que 1.4(153.6)=215 y 1.4(225.2)=315

1 Aquiles Ocampo (2004). "Alcohol Carburante: actualidad Tecnológica". *Revista EIA*, Universidad de Ingeniería de Antioquía, Medellín.

- Para el caso de melazas por miel pobre se pueden producir entre 215 y 315 kwh/ha

Realizando el mismo procedimiento con la información del cuadro 4 (para un rendimiento de 65 toneladas de caña por hectárea):

- La producción de biogás sería entre 116.7 y 171.9 m³/ha
- La generación de electricidad podría rondar entre los 163 y 246 kwh/ha

Anexo 2: Requerimientos de mano de obra

Las necesidades de mano de obra se estiman con base en la guía del CENTA (Centro Nacional de Tecnología Apropiada) de El Salvador. Los datos se resumen a continuación:

Mano de obra en días-hombre por manzana				
Actividad	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Siembra	16			
Carrileado		8	6	8
Fertilización	6	6	6	6
Plaguicidas	5	5	7	7
Rozado	28	35	32	28
Caporal	2	2		

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Convirtiendo los valores de manzanas a hectáreas

Mano de obra en días hombre por hectárea					
Actividad	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Promedio (2-4)
Siembra	23				
Carrileado		11	9	11	10
Fertilización	9	9	9	9	9
Plaguicidas	7	7	10	10	9
Rozado	40	50	46	40	45
Caporal	2	2	2	2	2

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.

Clasificando las actividades en plantación, mantenimiento y cosecha, se estiman los siguientes requerimientos de mano de obra:

Actividad	Año inicial	Años (2-4)
Plantación	23	
Mantenimiento	16	28
Cosecha	40	45
Cosecha (ind.)	2	2
Total	81	75

Fuente: Elaboración propia a partir de información secundaria.



Módulo V:
**Caña
de azúcar**

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



Módulo I:
Piñón



Módulo II:
Higuero



Módulo III:
Jícara



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
Tels. (504) 236-9233 / 7915 / 5597
Fax. (504) 236-5713 / 9669
E-mail: honduras@snvworld.org
www.snvworld.org / www.snv-la.org