



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS ECONÓMICO-ADMINISTRATIVAS

**BALANCE ENERGÉTICO Y ANÁLISIS DE LA RENTABILIDAD DE
HIGUERILLA (*Ricinus Communis L.*) PARA LA PRODUCCIÓN
DE BIODIÉSEL.**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA Y DE LOS
RECURSOS NATURALES**



PRESENTA:

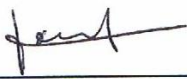
LIZBETH SANTIAGO FIGUEROA

Chapingo, México, Noviembre 2013.

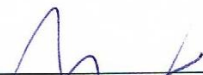
**BALANCE ENERGÉTICO Y ANÁLISIS DE LA RENTABILIDAD DE
HIGUERILLA (*Ricinus Communis L.*) PARA LA PRODUCCIÓN DE
BIODIÉSEL.**

Tesis realizada por Lizbeth Santiago Figueroa bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA Y DE LOS
RECURSOS NATURALES**

DIRECTOR: 

Dr. José Luis Romo Lozano

CO-DIRECTORA: 

Dra. María Antonieta Goytia Jiménez

ASESOR: 

Dr. Marcos Portillo Vázquez

Chapingo, México, Noviembre 2013

AGRADECIMIENTOS

- ❖ Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico brindado para la realización de mis estudios de posgrado.
- ❖ A la Universidad Autónoma Chapingo y a la División de Ciencias Económico-Administrativas por la oportunidad de formarme en sus instalaciones.
- ❖ Al Dr. José Luis Romo Lozano por toda su apoyo en la realización de este trabajo, por la confianza que depositó en mí, por su excelente disposición y por sus recomendaciones.
- ❖ A la Dra. María Antonieta Goytia Jiménez por sus excelentes consejos, por la colaboración para la realización de este trabajo y sobre todo por dejarme involucrar con su trabajo e investigaciones.
- ❖ Al Dr. Marcos Portillo por todo su apoyo durante mi estancia en el Posgrado de la División de Ciencias Económico –Administrativas.

DEDICATORIAS

A mis padres que siempre han sido parte fundamental de mi desarrollo personal, que están siempre para brindarme su apoyo y amor incondicional. Por hacer cada uno de los momentos a su lado inolvidables. Por enseñarme a levantarme ante las adversidades y por toda su confianza. A ustedes es a quien sin duda les debo el haber llegado hasta aquí.

A mis hermanas Itzel, Rocío y Rubí que siempre me han brindado su confianza, que hacen cada uno de mis días especiales, por compartir sus conocimientos e ideas y porque sin duda son mis mejores amigas.

A Sandra Ortega y Berenice Pineda porque a pesar del tiempo siguen siendo parte esencial de mi vida, por su apoyo y aprecio.

A Araceli, Blanca, Claudia y Roberto por su apoyo, amistad, por todos esos momentos compartidos que hicieron más agradable mi estancia en la maestría y sobre todo por formar parte de mi vida.

Y a todas aquellas personas que han aportado grandes cosas en mi vida y que sienten aprecio por mí.

DATOS BIOGRÁFICOS

El autor de la presente tesis nació el 20 de febrero de 1986 en México Distrito Federal. Realizó sus estudios de educación básica en Tultitlán Estado de México. En 2001 ingresa a la preparatoria de la Universidad Autónoma Chapingo y en 2004 a la División de Ciencias Económico-Administrativas de la misma universidad, en 2008 egresa como Licenciada en Economía Agrícola. En 2011 ingresa a la Maestría en Economía Agrícola y de los Recursos Naturales de la UACH.

BALANCE ENERGÉTICO Y ANÁLISIS DE LA RENTABILIDAD DE LA HIGUERILLA (*Ricinus Communis* L.) PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL

ENERGETIC BALANCE AND PROFITABILITY ANALYSIS OF CASTOR BEAN (*Ricinus Communis* L.) FOR BIODIESEL PRODUCTION

Lizbeth **Santiago Figueroa**¹ y José Luis **Romo Lozano**²

RESUMEN

El incremento de la demanda de energéticos y la preocupación por una mejor calidad ambiental han motivado la búsqueda de alternativas. Se analizó un genotipo de higuierilla (*Ricinus Communis* L.) con el objetivo de determinar si la producción de biodiésel a partir de su aceite es ambiental y económicamente viable a través de un balance energético y de indicadores financieros. El genotipo analizado fue el 98 colectado en el estado de Chiapas y cultivado por el Grupo de Investigación Interdisciplinaria en Higuierilla (GIIHD). Los resultados muestran que la producción de biodiésel a partir de higuierilla es ambientalmente viable ya que su balance energético fue positivo con una relación de 1: 3.14, sin embargo el cultivo de higuierilla no es económicamente viable si éste solo se maneja a nivel de cultivo, ya que sus ganancias son negativas.

Palabras clave: higuierilla, biodiésel, balance energético, rentabilidad.

ABSTRACT

The increase in the demand for energy and a need for improving environmental quality has prompted the search for alternatives. Genotype castor bean (*Ricinus communis* L.) was analyzed in order to determine if the production of biodiesel from its oil is environmentally and economically viable through an energy balance and a Policy Analysis Matrix. The castor bean genotype 98 analyzed was collected in the state of Chiapas and cultivated by Interdisciplinary Research Group on Castor Bean (GIIHD). The results show that the production of biodiesel from castor bean is environmentally feasible as energy balance was positive at a ratio of 1: 3.14, however castor bean cultivation is not economically feasible if it is handled only for cultivated, because its benefits are negatives.

Key Words: castor bean, biodiesel, energy balance, profitability.

ÍNDICE

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	4
1.3 OBJETIVOS.....	5
1.4 HIPÓTESIS.....	5
1.5 MARCO DE REFERENCIA.....	6
1.5.1 Situación Energética en México.....	8
CAPÍTULO II. CARACTERIZACION DE LA HIGUERILLA COMO MATERIA PRIMA PARA BIODIÉSEL.....	13
2.1 IMPORTANCIA MUNDIAL.....	13
2.2 IMPORTANCIA NACIONAL.....	14
2.3 ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN DE LA HIGUERILLA.....	14
2.4 DESCRIPCIÓN DE LA HIGUERILLA.....	15
2.4.1 Descripción Taxonómica.....	15
2.5 REQUERIMIENTOS EDAFOCLIMÁTICOS.....	18
2.5.1 Clima.....	18
2.5.2 Suelos.....	18
2.5.3 Temperatura.....	19
2.6 MANEJO AGRONÓMICO.....	19
2.6.1 Preparación del Terreno.....	19
2.6.2 Selección de semilla y siembra.....	21
2.6.3 Fertilización.....	22
2.6.4 Combate de malezas.....	22
2.6.5 Plagas y Enfermedades de la Higuierilla.....	23
2.7 EXTRACCIÓN DEL ACEITE Y PROPIEDADES DEL ACEITE DE HIGUERILLA.....	24
CAPÍTULO III. BALANCE ENERGÉTICO.....	28
3.1 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA.....	28
3.2 ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA APLICADO A LOS BIOCOMBUSTIBLES.....	36
3.3 BALANCE ENERGÉTICO.....	38

CAPÍTULO IV ANÁLISIS DE RENTABILIDAD	44
4.1 RENTABILIDAD	44
4.2 PRINCIPALES INDICADORES FINANCIEROS	45
4.2.1 Valor Actual Neto (VAN).....	45
4.2.2 Relación Beneficio Costo	46
4.2.3 Tasa Interna de Retorno (TIR)	47
4.2.4 Costos	48
4.2.5 ingresos.....	49
CAPÍTULO V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	50
5.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	50
5.1.1 Localización.....	50
5.1.2 Clima	51
5.1.3 Flora y Fauna.....	51
5.1.4 Suelo	52
5.1.5 Hidrología	52
5.2 MÉTODOLOGÍA	52
5.2.1 Balance Energético	53
5.2.2 ANÁLISIS DE RENTABILIDAD.....	55
CAPÍTULO VI. RESULTADOS Y DISCUSION	58
6.1 BALANCE ENERGÉTICO	58
6.2 ANÁLISIS DE RENTABILIDAD	69
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
LITERATURA CITADA	77

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1 Potencial productivo de cultivos aptos para la producción de biocombustibles (miles de hectáreas).....	12
Cuadro 3.1Resumen de los pasos metodológicos ACV	34
Cuadro 6.1 Contenido energético de los insumos empleados y las operaciones realizadas en el proceso productivo.....	59
Cuadro 6.2 Consumo de energía en la etapa agrícola de la producción de biodiésel.....	60
Cuadro 6.3 Consumo de energía en la etapa industrial de la producción de biodiésel.....	63
Cuadro 6.4 Gasto de energía en la etapa de transporte de la producción de biodiésel.....	64
Cuadro 6.5 Resumen de la energía consumida en las tres etapas de producción de biodiésel.....	65
Cuadro 6.6 Energía producida en el proceso de producción de biodiésel a partir de higuierilla.....	67
Cuadro 6.7 Balance de energía del proceso de producción de biodiésel a partir de higuierilla.....	67
Cuadro 6.8 Costos de producir higuierilla en una hectárea	70
Cuadro 6.9 Resumen de los indicadores financieros del cultivo de higuierilla...	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Consumo de energía per cápita en México 2009-2012	8
Figura 1.2 Producción primaria de energía en México 2011.....	9
Figura 1.3 Consumo de energía en México 2011	10
Figura 2.1 Principales países productores de semilla de ricino (Producción en toneladas 1992-2012)	14
Figura 2.2 El ciclo del biodiésel por Meroil.....	26
Figura 3.1 Análisis de ciclo de vida.....	29
Figura 3.2 Fases de un ACV, de acuerdo con la serie de normas ISO 14040..	33
Figura 5.1 Ubicación de la Universidad Autónoma Chapingo	51
Figura 6.1 Participación del consumo de energía de las fases de la etapa agrícola	61
Figura 6.2 Participación en el consumo de energía de las etapas de producción de biodiésel.....	66

SIGLAS

ACV	Análisis de Ciclo de Vida
CME group	Chicago Mercantil Exchange
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GIHD	Grupo Interdisciplinario de Investigación en Bioenergéticos para el Desarrollo Rural Sustentable
Ha	Hectárea
INIFAP	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
ISO	Organización Internacional para la Estandarización
Kg	kilogramo
kWh	Kilowatts hora
L	Litro
MJ	Mega Joules
mm	milímetros
MAP	Matriz de Análisis de Política
MRI	Midwest Research Institute
B/C	Relación Beneficio -Costo
SENER	Secretaría de Energía
SIAP	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera
TIR	Tasa Interna de Retorno
VAN	Valor Actual Neto

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La energía representa uno de los sectores clave para el desarrollo de la economía a nivel global. El avance de nuevas tecnologías, la producción y el aumento de la población hace que la demanda de energéticos sea cada vez mayor. Para lo cual se demandan mayores cantidades de energía. La producción en los últimos años ha estado basada en la extracción de hidrocarburos, principalmente el petróleo. Mientras que la disminución de reservas petrolíferas aunadas a la inestabilidad de los precios ha llevado a que se centre la atención en nuevas fuentes de energía.

Las energías renovables son los principales objetos de investigación en cuanto a temas de energía se refiere. Otra de las motivaciones para su estudio es su potencial ambiental, ya que podrían disminuir la contaminación y contribuir a mejorar la calidad de vida de la población.

En este contexto se han estudiado muchas alternativas para la producción de energía destacando la producción de biocombustibles ya que la mayor parte de la energía es consumida por el sector del transporte.

Entre las diferentes opciones de biocombustibles que se han estudiado están el etanol y el biodiésel. Los cuales representan una alternativa para la sustitución de combustibles fósiles y al mismo tiempo representan una opción para el fomento de la producción agrícola e industrial.

Existen diversos cultivos que pueden ser considerados como materias primas para la producción de biocombustibles. Por lo que se han realizados diversos estudios para conocer su potencial en México. En el caso del etanol la caña y el maíz son los principales insumos estudiados. Para la producción de biodiésel las opciones son la jatropha, la palma de aceite y la higuera.

La higuera es uno de los principales cultivos que presenta un gran potencial para su uso como biocombustible. Ya que es una especie que prolifera en diferentes climas, en México se encuentra distribuida en 30 estados (SENER 2012), no es un cultivo muy exigente y su uso para la producción de biodiésel no afecta al abastecimiento de alimentos (Zamarripa 2011). Por lo que se presenta como una fuente de energía alternativa.

En la actualidad no existen plantaciones comerciales en el país, ya que no ha sido un cultivo importante a pesar de que su aceite tiene múltiples usos en la industria cosmética y farmacéutica.

El proceso de producción de biodiésel a partir de higuera aún se encuentra en estudio. Debido a que se deben de incluir los trabajos acerca del cultivo, la industrialización y la distribución del mismo. Así como los estudios sociales y ambientales del proceso.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La preocupación por la provisión de energía ante una demanda de energéticos creciente y la preocupación por mejorar la calidad ambiental han motivado a la investigación de nuevas fuentes de energía más amigables con el medio ambiente. Como el caso de la producción de etanol y biodiésel para sustituir a los combustibles tradicionales.

Sin embargo se ha cuestionado su amabilidad con el ambiente, pese a que emiten una cantidad menor de gases de efecto invernadero (GEI) y las plantaciones absorben CO₂, ya que para la producción de algunos insumos se han tenido que talar áreas forestales y en algunos otros casos los estudios realizados muestran un balance energético negativo. Lo que significa que la energía usada para su producción es mayor que la que obtenida. El desempeño ambiental de un biocombustible es importante pero también se debe evaluar si desde el punto de vista económico es viable.

Para que un biocombustible sea considerado una opción para sustituir a los combustibles fósiles se deben tomar en cuenta su desempeño ambiental, social y económico. Y de este modo garantizar que su proceso de producción sea eficiente y un alternativa de desarrollo.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Enmarcada en la creciente demanda de energético, la producción de etanol y biodiésel ha sido un eje de investigación en los últimos años como una fuente de energía renovable.

A pesar de que a nivel internacional se han hecho diversas investigaciones sobre la factibilidad de producir bioenergéticos, en México cobró una mayor relevancia a partir de 2008 con la publicación de la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos. Por lo que en la actualidad los estudios referentes a la producción de biocombustibles en México aún están en proceso.

Dado que existen diversas especies vegetales que son una opción para la producción de bioenergéticos se eligió a la higuera ya que es una planta rústica, que no requiere de muchos fertilizantes ni agua, y además es un cultivo que no compite con cultivos de alimentación humana, por lo que se presenta como una especie con un amplio potencial para la producción de biodiésel en México. Por lo cual en el presente estudio se hace una evaluación del desempeño energético y económico de la producción de higuera para su uso como biocombustible.

1.3 OBJETIVOS

El objetivo general de este estudio consiste en realizar un balance energético y una evaluación de la rentabilidad de la higuera genotipo 98, para determinar su viabilidad como materia prima de la producción de biodiésel.

Los objetivos específicos de este estudio son los siguientes:

- Elaborar indicadores energéticos: energía neta e índice energético. Para evaluar si el balance de energía del cultivo es positivo o negativo.
- Realizar un análisis de rentabilidad del cultivo a través de la estimación de indicadores financieros tales como Valor Actual Neto (VAN) y relación Beneficio Costo (B/C).

1.4 HIPÓTESIS

La cantidad de energía contenida en el biodiésel a partir del cultivo de higuera Genotipo 98 es mayor a la cantidad de energía requerida para su producción.

La producción del cultivo de higuera Genotipo 98 es factible económicamente.

1.5 MARCO DE REFERENCIA

El sector energético a nivel mundial es en la actualidad uno de los sectores clave de la economía debido a que guarda una relación directa con la producción y el crecimiento económico. El desarrollo de tecnologías ha traído grandes beneficios y ha incrementado el nivel de vida de la población sin embargo esto también ha traído como consecuencia el incremento en la demanda de energéticos a nivel global.

En la actualidad la mayor parte de la producción de energía es derivada de los hidrocarburos. De acuerdo al informe de REN 21 (2012) en el año 2010 el consumo global de energía provenía 80.6 % de fuentes fósiles, 2.6 % de energía nuclear, 8.5 % de biomasa tradicional y 8.2 % de fuentes renovables modernas.

La volatilidad de los precios de los hidrocarburos, así como su cuestionamiento sobre el impacto negativo que generan sobre el ambiente han planteado que el sector energético busque nuevas fuentes de suministro, en particular aumentar la producción de energía a través de fuentes renovables. El abastecimiento de energía proveniente de recursos renovables pretende proporcionar una mayor seguridad en el aprovisionamiento así como reducir las emisiones de gases contaminantes.

Son consideradas como energías renovables la biomasa tradicional, las hidroeléctricas, bioenergéticos, energía solar, energía eólica y energía geotérmica. Los Países que tienen un mayor avance en el proceso de cambiar

los combustibles fósiles por combustibles renovables son Alemania, Brasil, España, Dinamarca, China y Estados Unidos (Consejo Mundial de Energía, 2012). Se estima que en el período de 1990 a 2010 la producción de energías renovables tuvo una tasa de crecimiento anual del 2.9 % y su contribución a la generación de energía eléctrica mundial fue de 19.4 % (International Energy Agency, 2012).

En el caso de energías renovables para el sector del transporte destacan el etanol y el biodiésel provenientes de cultivos agrícolas. La participación de los biocombustibles contribuye todavía en pequeña escala en la mayoría de países. Sin embargo en Brasil el etanol juega un papel muy importante ya que sustituye a la gasolina en un 50 % (REN 21, 2012).

La implementación de cultivos bioenergéticos se ha planteado como una solución para diversificar las fuentes de energía, reducir las emisiones de CO₂, promover el desarrollo económico y mejorar la rentabilidad de la producción agrícola. No obstante también se han generado interrogantes sobre su desempeño ambiental ya que algunos autores plantean que algunos biocombustibles pueden generar una mayor cantidad de gases de efecto invernadero. Para determinar la factibilidad de la producción de biocombustibles se deben realizar estudios técnicos, estudios de rentabilidad económica, social y ambiental.

1.5.1 Situación Energética en México

El sector energético en México tiene un papel muy importante en el desarrollo económico y social del país. Abarca la generación de electricidad, extracción de hidrocarburos, la producción de insumos para la economía y la prestación de servicios públicos.

La comercialización de hidrocarburos en el plano internacional es un factor determinante para la generación de divisas y su contribución fiscal para el gobierno federal es muy importante. En resumen, el sector energético representa un área clave de la economía.

En los últimos años la demanda de energéticos en el mundo se ha incrementado. Como se muestra en la Figura 1.1 en México el consumo per cápita de energía tuvo un crecimiento de 3.1 % de 2009 a 2012 (Secretaría de Energía, 2013).

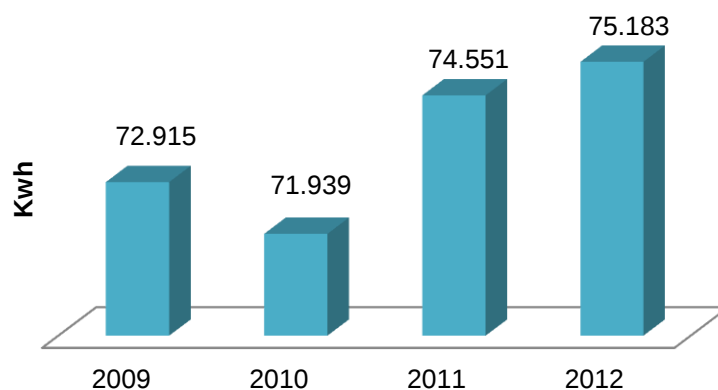


Figura1.1 Consumo de energía per cápita en México 2009-2012

Fuente: Elaboración propia con datos de la Secretaría de Energía 2013

La producción de energía en México tiene un patrón de comportamiento parecido al que se sigue a nivel mundial, ya que la producción se focaliza en los hidrocarburos.

En la Figura 1.2 se muestra como se distribuyó la producción de energía primaria en México para el año 2011 en donde podemos observar que los hidrocarburos representaron el 89 % de los cuales el 64.5 % correspondió a petróleo crudo. La producción de energía renovable fue apenas el 7 % del total, 3 % corresponde a carbón y 1 % a nucleenergía. La producción de hidrocarburos es una de las principales fuentes de ingresos para el país ya que México es un país exportador de petróleo crudo.

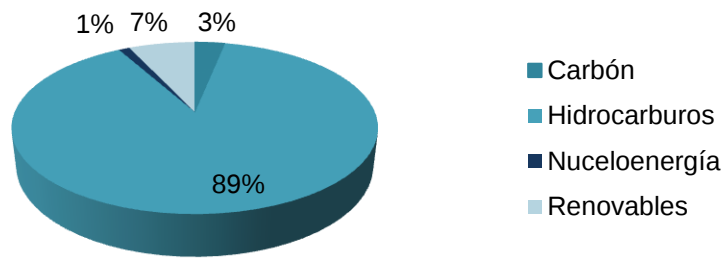


Figura 1.2 Producción primaria de energía en México 2011

Fuente: Elaboración propia con datos de la Secretaría de Energía 2013

Por otra parte en la producción de energía secundaria (coque de carbón, coque de petróleo, gas licuado, gasolina, querosenos, diésel, combustóleos y la electricidad) la situación es diferente ya que no se satisfacen la demanda interna y se tienen que importar una cantidad importante de estos productos.

Por su parte, el consumo de energía que se refiere a la energía destinada a la combustión en los procesos y actividades económicas y también la que se emplea para satisfacer las necesidades energéticas de la sociedad, se puede desagregar por sectores: transporte, industrial, residencial, agropecuario, comercial y público. De los cuales el transporte es el más intensivo en uso de energía como se muestra en la Figura 1.3.

Asimismo el consumo de la gasolina es la que mayor demanda representa, derivado de su uso en el sector del transporte. El 31.7 % del total de la energía consumida corresponde al uso de gasolina como combustible, seguida de la electricidad 17.3 %, el diésel 16.8 % y el gas seco 11.9 % (Secretaría de Energía, 2013).

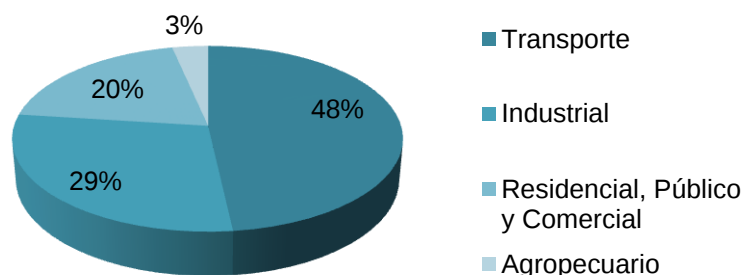


Figura 1.3 Consumo de energía en México 2011

Fuente: Elaboración propia con datos de la Secretaría de Energía 2013

Ante el crecimiento del sector energético y la gran dependencia del petróleo, México tiene grandes retos para poder satisfacer su demanda de energía uno de ellos es importar menos cantidades de productos petrolíferos terminados, ya

que son los principales combustibles que se consumen, y otro es la diversificación de las fuentes de energía.

En este contexto surge el interés por buscar otras fuentes de energía, como las provenientes de recursos renovables, que han cobrado mayor relevancia en años más recientes. México cuenta con un gran potencial para el desarrollo de energías renovables, como la hidroeléctrica, la geotérmica, eólica, la solar, la mareomotriz y la energía proveniente de los bioenergéticos.

Los bioenergéticos son aquellos que derivan de la combustión de sólidos, líquidos o gases provenientes de biomasa. Entre los bioenergéticos encontramos al etanol y el biodiésel, que tienen su aplicación en el sector del transporte principalmente, como sustitutos de la gasolina y el biodiésel.

Considerando la relevancia que han cobrado los bioenergéticos en México, en 2008 fue publicado el decreto por el que se expide la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos, la cual contempla la elaboración del Programa de Producción Sustentable de Insumos para Bioenergéticos y de Desarrollo Científico y Tecnológico, así como del Programa de Introducción de Bioenergéticos.

En el caso del biodiésel, se han realizado esfuerzos para impulsar la producción de insumos para la producción de biocombustibles como el del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, que cuenta con centros de investigación para generar paquetes tecnológicos para obtener insumos rentables de alta calidad.

De acuerdo con datos del INIFAP (2010) en México existen hasta 18 mil hectáreas con condiciones para cultivos agrícolas que podrían aprovecharse para convertirse en biocombustible como se muestra en el Cuadro 1.1.

Cuadro 1.1 Potencial productivo de cultivos aptos para la producción de biocombustibles (miles de hectáreas)

Cultivo	Bioenergético	Potencial Medio	Potencial Alto	Localización
Caña de azúcar	Etanol	460	4313	22 Estados de la República
Higuerilla	Biodiésel	3960	6345	30 Estados de la República
Jathrofa	Biodiésel	2620	3468	28 Estados de la República
Palma de aceite	Biodiésel	242	293	8 Estados de la República
Remolacha azucarera	Etanol	1725	2008	32 Estados de la República
Sorgo dulce	Etanol	2072	2200	22 Estados de la República

Fuente: INIFAP 2010 en Secretaría de Energía (2012). Prospectivas de Energías Renovables 2012-2026

Ya que una de las principales motivaciones para la producción de biocombustibles es su supuesto mejor desempeño ambiental con respecto a los combustibles fósiles, se han estudiado diversos métodos que evalúan este desempeño tales como el balance de energía, el impacto de las emisiones de GEI, la disponibilidad del agua, impactos sobre la frontera agrícola y sobre la biodiversidad.

CAPÍTULO II. CARACTERIZACION DE LA HIGUERILLA COMO MATERIA PRIMA PARA BIODIÉSEL

2.1 IMPORTANCIA MUNDIAL

La higuierilla es una planta muy versátil, de la cual se extrae un aceite que es muy valioso en la industria debido a sus diversas aplicaciones. El 99% de este aceite se emplea en la industria de la transformación; es resistente al agua y por eso se usa como aislante, es un buen lubricante para motores de avión y aparatos de gran precisión, es resistente a bajas temperaturas. Es muy apreciado en la industria cosmética para la fabricación de jabones y tintes, así como en la producción de pinturas y barnices, porque es un aceite que seca muy rápido.

Actualmente la higuierilla se encuentra ampliamente distribuida por su cultivo con fines industriales, por su crecimiento espontáneo y por su uso como planta ornamental. India, China, Brasil y Mozambique son sus principales productores (FAO, 2012). Como se muestra en la Figura 2.1.

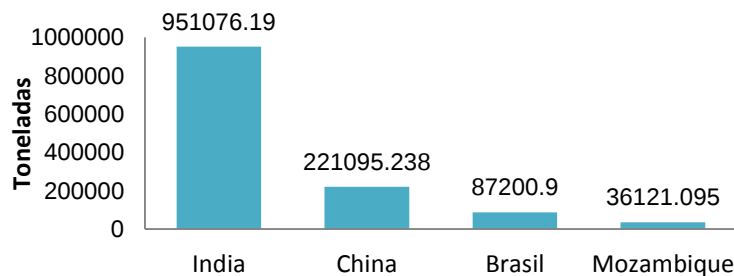


Figura 2.1 Principales países productores de semilla de ricino (Producción en toneladas 1992-2012)

Fuente: Elaboración propia con datos de la FAO

2.2 IMPORTANCIA NACIONAL

En México no se ha establecido la higuierilla como un cultivo de gran relevancia en los últimos años debido a la poca tecnología que se ha desarrollado para su cultivo, a la inseguridad que existe en el mercado nacional e internacional y debido a que se ha dado prioridad al cultivo de productos básicos. En tanto que las industrias que utilizan el aceite de ricino en sus procesos, prefieren obtener la materia prima a través de las importaciones ya que usualmente es más barato.

2.3 ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN DE LA HIGUERILLA

La higuierilla es una planta originaria de África, actualmente se encuentra distribuida en todo el mundo sobre todo en climas templados. Vavilov (1992) sitúa un centro primario de origen de plantas de higuierilla en Etiopía, antiguamente conocida como Abisinia o Alta Etiopía. Aunque este mismo autor reconoce que existe un centro secundario de origen en Irán y Afganistán.

La higuera se ha naturalizado en todas las regiones cálidas produciéndose mayormente donde la temperatura promedio es de 20 ° C y la altitud no mayor de 1500 m.s.n.m. Aunque por su gran capacidad de adaptación a las diferentes regiones ecológicas se le encuentra en forma cosmopolita en todo el país.

En la actualidad la higuera se encuentra distribuida en México en los estados de Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Colima, Distrito Federal, Guanajuato, Guerrero, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Sinaloa, Sonora, Tabasco, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz y Yucatán.

2.4 DESCRIPCIÓN DE LA HIGUERA

2.4.1 Descripción Taxonómica

La higuera se clasifica taxonómicamente de la siguiente manera de acuerdo con el Sistema Integrado de Información Taxonómica:

Clasificación Taxonómica de la Higuera	
Reino	Vegetal
Subreino	Traqueobionta
Superdivisión	Spermatophyta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Rosidae
Orden	Euphorbiales
Familia	Euphorbiaceae
Género	Ricinus
Especie	Communis L.

La planta *Ricinus Communis* tiene diferentes nombres comunes entre los más relevantes encontramos los siguientes: higuera, tártago, higuera del infierno, ricino, palma de cristo y castor bean.

2.4.2 Descripción Botánica

La descripción botánica de la higuera está basada en Rzedowski (2001).

Planta

El Ricino o higuera es una planta herbácea, perenne, alta, de raíz superficial y tallo grueso erecto, hueco por dentro, leñoso, de uno a 5 m de altura, y ramificado de color verde a café rojizo.

Raíz

Es pivotante y puede alcanzar hasta tres metros de profundidad constituyéndose el anclaje principal de la planta, presenta también raíces secundarias y terciarias pero a una menor profundidad.

Tallo

Presenta un tallo principal grueso, recto, hueco por dentro, leñoso, lampiño, de uno a 5 metros de altura y seccionado por entrenudos que pueden ser de 11 a 20. El diámetro puede variar de 3 a 15 cm, sus colores fundamentales son verde, rojo y caoba, algunas variedades son muy ramificadas y otras sin ramificación.

Hojas

Son láminas casi orbicular, de 10 a 75 cm de diámetro, alternas, palmatilobadas, con dimensiones ovado oblongas a lanceoladas, agudas o acuminadas, lóbulos irregularmente dentados, miden hasta 60 cm de longitud, divididas en varias partes, tienen forma de estrella, con pecíolo muy largo hasta de 20 cm. de longitud, unido por su parte inferior, nervaduras rojizas y bordes dentados de tamaño irregular.

Inflorescencia

Es una planta monoica y generalmente unisexual. Las flores son apétalas, las masculinas presentan un pedúnculo, y cáliz de 5 sépalos desiguales soldados en la base y numerosos filamentos, los granos de polen son de superficie lisa; las femeninas están formadas por un cáliz de 5 sépalos, un estilo y tres estigmas bífidos y un ovario con tres carpelos con un óvulo en cada uno lo que origina tres semillas, la pared está cubierta con espinas verdes y suaves. La higuierilla es una planta halógama y aneromófila por lo que tiene un alto índice de entrecruzamiento y la polinización se lleva principalmente por el viento.

Frutos

Fruto globuloso, trilobulado, cápsula casi siempre cubierto por abundantes púas, que le dan un aspecto erizado; tiene tres cavidades, ovoide, de 1-2 cm de diámetro, con la superficie cubierta de espinas y de color rojo antes de la maduración.

Semillas

Son elipsoides, algo aplanadas, de 5 a 15 mm de largo, lisas, brillantes, frecuentemente jaspeadas de café y gris, conspicuamente carunculadas. Son muy tóxicas, por la presencia de una albúmina llamada ricina, similar a la estricnina, ya que basta la ingestión de unas pocas para producir la muerte, sin embargo producen aceite de ricino, pero eliminando la toxina ricina, contiene vitamina E, y su aceite es soluble en alcohol muy valorado en cosmética, utilizado como laxante.

2.5 REQUERIMIENTOS EDAFOCLIMÁTICOS

2.5.1 Clima

Esta planta tiene un área de dispersión muy amplia, se ha adaptado a climas tropicales húmedos, tropicales secos y templados. Para cultivarse con fines comerciales se recomienda sembrarse en climas cálidos y secos con precipitación de 700 a 1200 mm anuales y con baja humedad relativa.

2.5.2 Suelos

Esta planta prospera bien en suelos profundos, de consistencia suelta, con buena aireación, poco compactada y de buen drenaje, de mediana o alta fertilidad, permeables, con altas cantidades de elementos nutritivos y con pH sobre 5.5 (óptimo 6-7), aunque no soporta la alcalinidad.

2.5.3 Temperatura

El cultivo prospera desde el nivel del mar hasta los 2,500 m de altura, pero conforme aumenta la altitud decrece el contenido de aceite. La higuierilla requiere una época seca definida después de la floración y su requerimiento de agua durante la etapa de crecimiento es de 600 a 800 mm. Tiene gran capacidad de adaptación y hoy día es cultivada prácticamente en todas las regiones tropicales y subtropicales, aunque es típica de regiones semiárida. La temperatura oscila entre 15 y 30 ° C. Y para obtener una buena producción debe de disponer de una temperatura media superior a 20 ° C durante su ciclo.

2.6 MANEJO AGRONÓMICO

El manejo y las actividades que se deben realizar para el cultivo de higuierilla en México está descrito en el trabajo de Solís et al. (2011).

2.6.1 Preparación del Terreno

Los terrenos para cultivar comercialmente esta especie deben tener facilidades para el uso de maquinaria. La preparación del suelo, conocida como labranza busca crear condiciones favorables para el buen desarrollo de los cultivos, es decir, para la germinación de las semillas, el crecimiento de las raíces y plantas, y en la mayoría de los casos, para la formación del fruto; además puede ayudar a incrementar significativamente la producción (Márquez, 2001).

Chapeo

Esta actividad se realiza con la finalidad de eliminar toda maleza que se encuentre presente en el terreno y facilitar su incorporación como fuente de materia orgánica además facilita el paso de los implementos agrícolas.

Barbecho

Con esta labor se rompe la capa compacta del suelo y se propicia una mejor aireación y retención de humedad que permiten un mejor desarrollo de raíces. Se realizan dos pases con el arado de discos a una profundidad de 20 a 30 cm.

Rastreo

Se debe realizar dos semanas después de haber barbechado, se efectúan dos pases cruzados de rastra de 24 discos a una profundidad de 10 a 20 cm, dependiendo de la textura y características del terreno.

Surcado

Se sugiere realizar el surcado a una distancia de 2 metros para los genotipos de porte medio, y a 3 metros para los portes altos. La profundidad de los surcos depende del tipo de semilla o genotipo a sembrar, puede ser de 15 a 20 cm en siembra de granos.

2.6.2 Selección de semilla y siembra

La semilla es importante saber de dónde proviene, hay diferentes variedades e híbridos que pueden ser más útiles según las condiciones del lote, algunas de las características que debemos tener en cuenta para escoger la semilla, que no presente alguna enfermedad como hongos y que tenga un 90% de su germinación y este en óptimas condiciones para su siembra.

La profundidad de siembra de la semilla es de 2 a 3 cm dentro de la capa húmeda del suelo, no es conveniente sembrar a mayor profundidad debido a que se retarda la emergencia de la plántula y se corre el riesgo de que se ahogue la semilla. Después de la emergencia de las plantas se debe realizar un raleo dejando una planta por sitio.

La semilla de higuera puede presentar un determinado grado de latencia. La impermeabilidad de la cáscara puede restringir la entrada de agua o dificultar el intercambio de gases necesarios para su germinación (Weiss, 1983).

Distancias de siembra

Mazzani (1983) recomienda utilizar para los genotipos de porte medio y alto el marco de plantación de 3.0 x 1.0 m, con densidad de población de 3,333 plantas ha. Este mismo autor menciona que para variedades de porte bajo es recomendable la densidad de 10,000 plantas ha, dependiendo del tipo de suelo, siendo el marco de siembra de 1.0 x 1.0 m.

La higuera se puede establecer en asociación con otros cultivos, intercalando maíz, calabaza, piña o el cultivo de la región. Se sugiere la siembra de este sistema utilizando distancias para la higuera de 2 a 3 m entre calle y 1 a 1.5 m entre plantas de higuera.

2.6.3 Fertilización

La higuera desarrolla bien en varios tipos de suelos, con excepción de aquellos de textura arcillosa debido a la susceptibilidad de la planta al exceso de humedad (Weiss, 1983).

2.6.4 Combate de malezas

La higuera presenta un crecimiento inicial lento, por lo que las malezas son un problema importante en esta etapa, que ocasionan pérdidas considerables en la producción (Mascarenhas, 1981).

El cultivo de higuera exige mantener el suelo libre de malezas durante las primeras fases de desarrollo y hasta que la planta alcance de 60 a 90 días del ciclo vegetativo. Las malezas compiten con el cultivo de higuera por agua, luz, nutrientes, espacio y CO₂, además que diversos autores reportan que algunas malezas segregan sustancias alelopáticas que limitan el crecimiento de la higuera.

Entre las especies de maleza que más se encuentran asociadas al cultivo de higuera son: zacate gigante (*Pennisetum purpureum* Schumacher), pepinillo de caballo (*Cucumis anguria* L.), mozote (*Achyranthes indicus*), blede espinoso

(*Amaranthus spinosus*), falsa dormilona (*Chomaecrypta trichopoda*), zarza (*Mimosa somnians*), dormilona (*Mimosa pudica*), verdolaga (*Portulaca oleracea*), zacate Jhonson (*Sorghum halapense*) y flor amarilla (*Melampodium divaricatum*) entre otras (Solís et al., 2011).

2.6.5 Plagas y Enfermedades de la Higuerilla

Dentro de las plagas que se han reportado en la higuerilla están: las chinches, cigarras y larvas de insectos. Además se ha reportado la presencia de ácaros fitófagos.

Por su parte, Robles (1980) menciona que los trips, gusano bellotero, gusano peludo, ácaros, minadores de la hoja son los insectos más comunes en la higuerilla. Menciona que en las zonas con alta precipitación, suelos pesados y con drenajes deficientes la incidencia de enfermedades es mayor. Algunos hongos presentes en higuerilla son *Fusarium oxysporium*, *Alternaria ricini*, *Sclerotinia ricino* y *Cercospora ricinielala*. La raíz es susceptible a pudriciones causadas por los hongos *Fusarium ricini* o *Phymatotrichium omnivorum*.

2.6.6 Cosecha

La falta de uniformidad en la maduración de los frutos de higuerilla dificulta determinar el punto de cosecha, por lo que se recolectan únicamente los frutos con madurez a corte. Los frutos verdes se cosechan en un segundo o tercer pase hasta alcanzar su maduración.

2.6.7 Manejo de poscosecha

El secado de los frutos se realiza de forma natural en el cual los frutos quedan expuestos al sol, después de desprenderlos del racimo mediante tijeras, sobre lonas de plástico, hasta alcanzar la humedad de los frutos de 10 % (Hermely, 1981). Posteriormente se utiliza una descascaradora manual para beneficiar el fruto.

2.7 EXTRACCIÓN DEL ACEITE Y PROPIEDADES DEL ACEITE DE HIGUERILLA

2.7.1 La extracción del aceite

La extracción del aceite es un proceso que requiere de varias fases: limpieza, descascarillado, troceado y molido, extracción mecánica y extracción por solventes (Sepúlveda, 2012). Las formas más usuales de extracción son por prensado y centrifugado. Obteniendo como producto aceite crudo y pasta.

2.7.2 Propiedades del aceite de higuera

La semilla de higuera contiene entre un 35 – 55 % de aceite principalmente constituido por glicéridos de los ácidos ricinoléico e isoricinoléico. También contiene ricina y ricinina, la primera es una fitotoxina sumamente venenosa por vía endo-venosa y menor por vía oral su actividad desaparece por acción del calor moderado; el segundo es un alcaloide de fórmula $C_8H_8N_2O_2$.

El aceite es espeso su principal componente es el ácido ricinoléico, el cual se encuentra formado por el triglicérido simple denominado triirricinoleína cuya concentración está cercana al 90 % de su peso, también se encuentran pequeñas cantidades de tripalmitina, triestearina, entre otros (Benavides *et al.*, 2007).

Posee una alta viscosidad y un valor de acidez menor a 5 % lo cual es importante en el proceso de producción de biodiésel ya que una cantidad mayor al 5 % de acidez induce a un menor rendimiento en la producción de biodiésel (Martínez *et al.*, 2011).

2.7.3 Producción de biodiésel

El biodiésel se obtiene a partir de la transesterificación de aceites y metanol. La transesterificación es un proceso industrial que consiste en tres reacciones consecutivas. El triglicérido es transformado a diglicérido, luego a monoglicérido y por último a glicerina, en cada reacción se libera éster metílico. El proceso se lleva a cabo en un reactor donde se producen las reacciones para posteriormente llevar a cabo las fases de purificación y estabilización (Proaño, 2010).

Para producir biodiésel se requiere además del aceite vegetal un alcohol y un catalizador (NaOH o KOH). La calidad del biodiésel depende del aceite de origen y del grado de fabricación (Proaño, 2010).

Las propiedades del biodiésel son muy similares a las del diésel por lo que puede mezclarse o sustituirse para su uso en motores.

En la figura 2.2 se muestra el ciclo que sigue la producción del biodiésel que comienza con la producción de las materias primas (cultivos oleaginosos), las semillas son convertidas en aceite, el aceite es convertido en biodiésel, el biodiésel es usado en vehículos, el CO₂ liberado es absorbido por el cultivo con lo que sigue el ciclo.

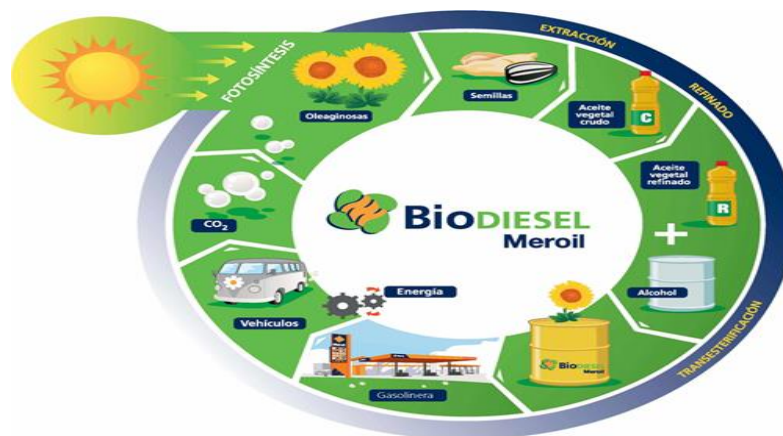


Figura 2.2 El ciclo del biodiésel por Meroil

El aceite de higuera ha sido usado desde tiempo muy remotos, pero actualmente la mayor parte del aceite que se produce tiene como destino el uso industrial (Martínez, 1979). Sus aplicaciones son consideradas en:

- La industria cosmética
- La industria farmacéutica
- La industria del plástico
- Base para algunas resinas

- Pinturas y barnices
- Elaboración de poliuretano
- Lubricantes de motores
- Producción de biocombustibles

2.7.4 Subproductos obtenidos de la higuera

Del cultivo de higuera se puede obtener leña, hojas para envolver alimentos y forraje para el ganado (Mata *et al.*, 2011). Por su contenido de toxinas no puede considerarse para el consumo humano. Sin embargo la torta de higuera obtenida como residuo de la extracción del aceite es útil para su uso como fertilizante orgánico (Da Silva *et al.*, 2012).

En recientes estudios se ha determinado que la torta de higuera puede sustituir al salvado de soja en la alimentación de cabras sin ningún perjuicio en su producción. Previo a un tratamiento para destoxificar y combinado con maíz y cal para constituir pellets (Ascheri *et al.*, 2011).

La glicerina es otro subproducto obtenido de la producción de biodiésel a partir de higuera, la cual tiene su uso en la industria cosmética principalmente.

CAPÍTULO III. BALANCE ENERGÉTICO

3.1 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

Un enfoque para la evaluación del desempeño ambiental de los biocombustibles es el de Análisis de Ciclo de Vida. Este método evalúa el proceso completo de producción y uso desde su inicio hasta su fin.

Según la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental (1993), el Análisis de Ciclo de Vida es: un proceso para evaluar las descargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando los materiales y la energía utilizada y los residuos liberados al ambiente; para evaluar el impacto del uso de esos materiales, energía y de las descargas al ambiente.

El análisis de Ciclo de Vida de un producto es una metodología que intenta identificar, cuantificar y caracterizar los diferentes impactos ambientales potenciales, asociados a cada una de las etapas del ciclo de vida de un producto (Rodríguez, 2003).

Este método como se ha mencionado permite evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto relacionadas con los efectos ambientales derivados del consumo de materias primas y energía para su manufactura, las emisiones y residuos generados en el proceso de producción, así como los efectos ambientales ocasionados por el fin de vida de del producto cuando se consume. También permite comparar ambientalmente dos o más alternativas de diseño, producto, grupos de producto o procedimientos.

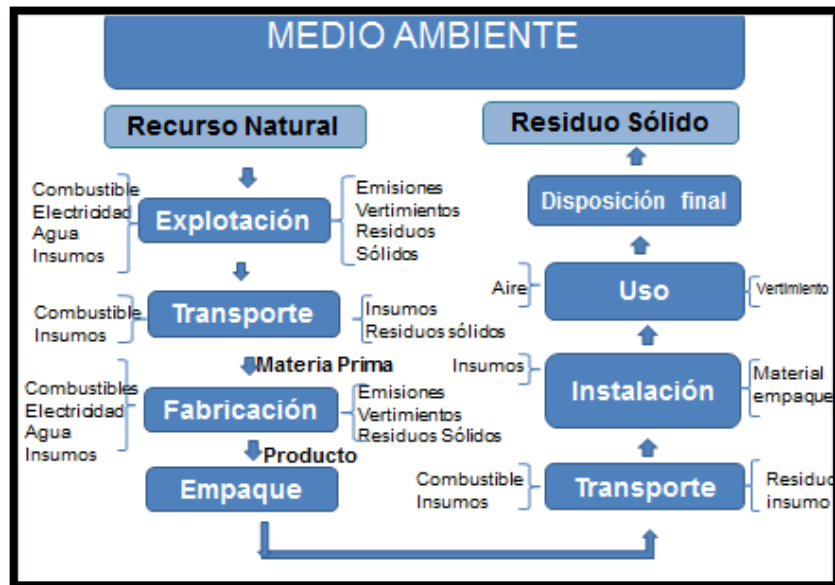


Figura 3.1 Análisis de ciclo de vida

Fuente: Rodríguez, B. I. R. (2003).

De acuerdo a la guía metodológica de estudio de análisis de ciclo de vida (ACV) realizada por la Comisión Nacional del Medio Ambiente de Chile, se ha utilizado principalmente en empresas para predecir y comparar el rendimiento ambiental de sus productos y envases. Este análisis apunta principalmente al rediseño de productos bajo el criterio de que los recursos energéticos y

materias primas no son limitados y se usan en forma más rápida que como se reemplazan o como surgen nuevas alternativas.

El análisis de ciclo de vida surge en el marco de la crisis energética de principios de los 70's. Una de las principales consecuencias que dejó esta crisis fue un detallado sistema para analizar la energía necesaria que se requiere para la fabricación de un producto individual. El ACV fue influenciada por este proceso y se desarrolló de forma paralela.

El primer ACV fue realizado por el MRI para Coca-Cola Rodríguez (2003), donde el objetivo fue disminuir el consumo de recursos y por lo tanto las emisiones hacia el ambiente. Los estudios continuaron durante los setentas y se realizaron diversos estudios usando métodos de balance de entrada y salidas e incorporando cálculos de energía.

La Sociedad de Toxicología y Química Ambiental es la principal organización que ha desarrollado y liderado las discusiones científicas acerca del ACV (Rodríguez, 2003).

En 1993 formuló el primer código internacional: Código de prácticas del ACV con el fin de hacer homogéneos los diversos estudios realizados. Esto impulsó el desarrollo de estudios masivos sobre ACV en diversas áreas. Posteriormente la Organización Internacional para la Estandarización, que es la organización que ha desarrollado una serie de estándares enfocados a la administración ambiental, apoyó este desarrollo para establecer una estructura de trabajo, uniformizar los métodos, procedimientos y metodologías (Rodríguez, 2003).

El ACV ha tenido avances importantes pero aún está en una etapa temprana de su desarrollo. En su mayoría los estudios realizados han sido de parciales y aplicados al sector de envases.

También se conoce como ecobalance, análisis de la cuna a la tumba (cradle to grave), análisis de recursos o análisis de impacto ambiental (Industry Council for Packaging and the Environment, 1996). A continuación se hace una breve descripción:

Ecobalance: es el proceso de cuantificar los recursos utilizados y las emisiones al ambiente. En Estados Unidos se le conoce como Análisis de Recursos y Perfil Ambiental y en Europa se le llama Ecobalance.

Análisis de la Cuna a la Tumba: Es cualquier análisis que abarque todo el ciclo de vida, incluya o no el análisis de impacto.

Análisis de Recursos y Perfil Ambiental: término usado por muchos practicantes para las dos primeras etapas del ACV.

Balance Ambiental: Se utiliza en forma equivalente al ACV y también para un ACV que combina la etapa de análisis de impacto y evaluación en una sola.

Produktlinienanalyse (PLA): es un procedimiento completo de evaluación que incorpora, además de una evaluación ambiental, una evaluación económica y social del producto o servicio que se estudia.

Para realizar la evaluación se analiza el proceso completo incluyendo la extracción de la materia prima, la fabricación, el transporte, la distribución, el reciclado hasta el consumo final.

La estructura del análisis de ciclo de vida es descrita en la norma ISO 14040 y se define en cuatro fases.

- Definir los objetivos y el marco de estudio. En esta fase se definen los objetivos globales, la finalidad del estudio, el producto a estudiar, el destinatario previsto y el alcance del estudio.
- Elaboración del análisis del inventario, donde se registran los materiales y los flujos de energía de los pasos del proceso así como los cálculos para cuantificar las entradas y salidas relevantes a lo largo de la vida del producto.
- Evaluación de los impactos ambientales potenciales utilizando los resultados del inventario. Esta fase se puede dividir en tres pasos: clasificación, caracterización y valoración.
- Análisis o interpretación de los resultados del balance de masa y energía se resumen y se analizan con respecto al objetivo para poder llegar a conclusiones y recomendaciones.

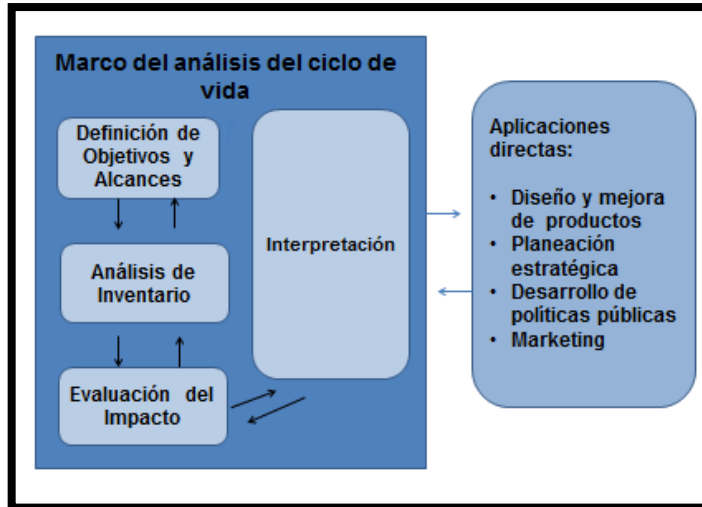


Figura 3.2 Fases de un ACV, de acuerdo con la serie de normas ISO 14040

Varios pasos son los están involucrados en el ACV, el análisis de ciclo de vida completo de fuentes de energía renovable incluye cada uno de los pasos desde la producción de materia primas, extracción, procesamiento, fabricación, transporte y uso del producto. Cada uno de estos pasos puede tener un efecto benéfico o perjudicial en el aspecto ambiental, económico o social. En el Cuadro 3.1 se muestran los pasos del ACV en cada fase.

La carga ambiental abarca todo tipo de impactos en el medio ambiente, incluyendo la extracción de diferentes tipos de recursos, emisión de sustancias peligrosas, y los diferentes tipos de uso de la tierra.

Muchas compañías han utilizado el análisis de ciclo de vida para mejorar su desempeño ambiental a través del análisis correspondiente de productos y procesos (Bretz, 1996; Dahllöf, 2003).

El ACV también ha sido empleado por científicos para medir el impacto ambiental de los sistemas de producción renovable, obteniendo algunos resultados importantes (Singh, 2013).

Cuadro 3.1 Resumen de los pasos metodológicos ACV

FASE	PASO	RESULTADO PRINCIPAL
Definición de objetivos y alcances	• Definición de Objetivos • Definición del Alcance • Función, Unidad Funcional • Flujos de Referencia	Comparación de las alternativas
Análisis del Inventario	• Límites del sistema económico-ambiental • Diagrama de flujo • Formato y categoría de datos • Calidad de los datos • La recolección de los datos y los datos relativos a los procesos • Validación de datos • Estimación de datos • Multifuncionalidad y asignación • Método de cálculo	Tabla de inventario y otros indicadores
Evaluación del Impacto	• Selección de las categorías de impacto • Selección y caracterización de los métodos • Clasificación • Caracterización • Normalización • Agrupamiento • Ponderación	Perfil ambiental, impacto perfil ambiental normalizado, perfil de ponderación
Interpretación	• Comprobar la coherencia • Hacer el análisis de contribución, perturbación, sensibilidad e incertidumbre	Conclusión y recomendaciones

Fuente: Singh 2013

El ACV es un método muy completo que permite hacer un análisis integral del desempeño ambiental del bien en estudio. Entre sus principales ventajas tenemos las siguientes:

- Desarrolla una evaluación sistemática de las consecuencias asociadas al producto que se está evaluando.
- Permite conocer los impactos ambientales, sociales y económicos para poder tomar decisiones oportunas.
- Puede ser una ayuda útil para bajar los costos en base a una mayor eficiencia en los procesos de fabricación, transporte y distribución.
- Provee de ventajas comparativas y competitivas al proporcionar los elementos de análisis.
- Cuantifica las emisiones ambientales al aire, agua y tierra en relación con cada etapa del proceso.
- Evalúa los efectos ecológicos y humanos del consumo de material y de las emisiones ambientales.
- Compara los impactos ambientales entre dos o más productos/ sistemas rivales en un proceso específico.
- Ayuda a identificar cambios en los impactos ambientales entre las etapas del ciclo de vida y el medio.

Sin embargo este método presenta algunas desventajas como su complejidad, la cantidad de tiempo requerido para su elaboración y su inexactitud, ya que los datos que se obtienen son aproximados.

3.2 ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA APLICADO A LOS BIOCOMBUSTIBLES

Para conocer el impacto que tiene la producción de bioenergéticos en el ambiente se deben generar indicadores que midan los impactos negativos o positivos del biocombustible.

Los principales temas que toman en cuenta para determinar la viabilidad de un biocombustible son el balance de energía, los impactos sobre emisiones globales y locales, impactos sobre la frontera agrícola y la biodiversidad, impactos sobre disponibilidad y calidad del agua e impactos sobre calidad del suelo (Dufey, 2011).

Cuando a mediados de los setentas los biocombustibles empezaron a ser considerados como una posible fuente de energía sustituta de los combustibles fósiles se empezó a discutir sobre el balance de energía. Los primeros estudios realizados principalmente en Estados Unidos fueron enfocados a la producción de bioetanol a partir de maíz. En estos primeros estudios el balance de energía resultaba negativo. Fue en los años ochenta que el tema de los balances energéticos cobró relevancia debido a la preocupación de Estados Unidos por reducir la contaminación (Shapouri, 2002).

En la actualidad el balance de energía de los biocombustibles es un tema clave para la comparación de combustibles y para la toma de decisiones de uso de algún combustible u otro.

Al respecto se puede encontrar en la literatura trabajos de balances de energía para bioenergéticos que presentan resultados contradictorios, y a su vez las unidades de medida, el método y las unidades de conversión suelen ser bastante heterogéneas.

Malca y Freire (2006) por su parte resaltan que los análisis energéticos de sistemas de producción de biocombustibles muestran con frecuencia variaciones en los resultados debido a los diferentes supuestos sobre las variables críticas que tienen un impacto decisivo sobre el balance energético.

Como lo presenta el trabajo de Pradhan (2007) en el cual se trata de buscar un modelo unificado para determinar la relación de energía neta a partir de estudios anteriores para el cultivo de soya. Encontrando que los resultados contradictorios se deben a las diferencias en la proporción de energía asignados al biodiésel, se estudiaron cuatro modelos de los cuales tres tuvieron una relación de energía neta negativa.

Farrell et al. (2006) desarrollaron bajo el modelo de Biofuel analysis Meta-Model del Energy Resources Group (ERG), diseñado por para proporcionar una herramienta sencilla para comparar los procesos de producción de biocombustibles, un estudio donde se comparan seis de los artículos más importantes sobre el balance energético de biocombustibles. Su estudio se centra en la producción de etanol a partir de maíz. Debido a que es en este proceso en donde los resultados son menos alentadores, encontrando resultados muy divergentes.

3.3 BALANCE ENERGÉTICO

El análisis de los balances energéticos de un proceso se refiere a la comparación entre el valor del conjunto de las entradas, expresadas en kcal o kjoules, y las salidas, para conocer la eficiencia del proceso (I Culla, 1882).

De forma simple el balance energético se puede definir como la diferencia entre la energía de entrada y la energía de salida durante el proceso de obtención y transformación de los insumos de un proceso productivo, con la finalidad de determinar la energía neta.

En el balance energético de los biocombustibles, a diferencia de los balances de energía tradicional, se toman en cuenta todas las formas de energía no renovable como equivalentes en la entrada.

En el caso del balance energético a partir del análisis del ciclo de vida de los biocombustibles considera la cantidad de energía disponible en una unidad de biocombustible en comparación a la energía fósil necesaria para su producción (Dufey, 2011). Según Lobato (2007) el ciclo de vida se divide en:

- Energía utilizada en la producción del cultivo
- Energía utilizada en la transformación en biocombustible
- Energía obtenida de la combustión del biocombustible, y
- Energía obtenida de la utilización de subproductos.

Los indicadores energéticos usados usualmente son cocientes o razones de los flujos de energía y transmiten información resumida sobre distintos aspectos de interés para entender el funcionamiento de un sistema o proceso. Los más empleados son:

Energía Neta: es igual a la energía bruta producida por su proceso de combustión menos la energía que se ha aportado a lo largo de su ciclo de vida.

Rendimiento energético sobre la energía invertida: se define como el cociente entre el contenido energético del biocombustible y los insumos de energía no renovable aportados para su fabricación.

Energía fósil evitada o sustituida: es la energía total necesaria para proporcionar una unidad equivalente de gasolina menos toda la energía fósil empleada para producir el biocombustible.

Energy renewable efficiency: es un indicador propuesto por Malca y Freire (2006) para evaluar el grado de renovabilidad de un recurso energético y mide la fracción de la energía final que proviene de una fuente de energía renovable. Es el cociente entre el valor energético neto y el contenido energético del biocombustible analizado.

Balance energético de un sistema de producción de biocombustible: es la relación entre la energía producida por el mismo (energía saliente) y la energía consumida (energía aportada) por cada unidad de producto (kg de biocombustible), relevante para reflejar la viabilidad económica y ambiental de un proyecto de biocombustibles.

Algunos autores consideran que la energía neta o saldo energético, puede ser interpretada como un índice para analizar la viabilidad, técnica, económica y ambiental en la comparación de alternativas para determinar el tipo de cultivo para determinar el tipo de cultivo más adecuado para la producción de biodiésel dado un determinado contexto (da Costa *et al.*,2006).

En la literatura encontramos que la mayoría de estudios se enfocan a realizar balances de energía que consisten en la cuantificación de energía de entrada en las etapas agrícola, industrial y de transporte, así como la cantidad de energía de salida para determinar la energía neta.

La **energía de entrada** se divide en energía directa e indirecta. La energía directa se refiere a los combustibles, la electricidad, el agua y el gas. Y como energía indirecta se consideran los insumos para la producción como semillas, herbicidas, fertilizantes, etc.

Como **energía de salida** se considera la energía directa de los productos obtenidos como el biodiésel o el bioetanol y la energía indirecta obtenida de los subproductos como la leña, la pasta y la glicerina.

A partir de los datos de entrada y salida de energía se puede determinar el balance de energía y el índice energético.

$$\text{Energía Neta} = \text{Energía de Salida} - \text{Energía de Entrada}$$

El balance de energía debe ser positivo es decir la energía de salida debe ser mucho mayor que la energía de entrada para que el biocombustible sea eficiente.

$$\text{Índice Energético} = \text{Energía de Salida} / \text{Energía de Entrada}$$

Este índice permite cuantificar la energía que se obtiene por unidad de energía aportada. Por lo que este índice debe tener un valor mayor a 1 para que sea positivo.

$$\text{Producción de energía neta} = \text{Energía Neta} / \text{Kg grano obtenido}$$

Para elaborar el balance de energía de un biocombustible se consideran tres etapas principales en el proceso productivo la agrícola, la industrial y la de transporte.

Etapas Agrícola

En esta etapa se considera el rendimiento del cultivo (toneladas/ ha), la energía de las materias primas, el tipo y la cantidad de insumos requeridos como son los fertilizantes, herbicidas, plaguicidas en kg/ ha, y la cantidad de energía requerida para el cultivo expresado en MJ/ ha.

Etapas Industrial

Se considera la cantidad de insumos para la producción (kg /L de biocombustible), el valor energético de los insumos (MJ/ kg o MJ/L), los subproductos y la energía requerida para el procesamiento (MJ/ ha.)

Etapas de transporte

Se incluye para calcular el gasto energético del transporte durante la etapa agrícola y hacia la planta en donde se realizará el procesamiento hasta el almacenamiento del biocombustible.

Entre los trabajos que se han realizado sobre balances energéticos de biocombustibles se encuentra el realizado por Ortega-Blu (2010) en el cual determinó la sostenibilidad de biocombustibles en Chile mediante balances energéticos y evaluaciones económicas en cinco cultivos. Para poder realizar el análisis se determinó el valor de la energía neta, la relación de energía neta y la producción de energía neta. A través de estos indicadores se llegó a la conclusión de que existe potencial en Chile para poder desarrollar biocombustibles.

Existen otros trabajos similares en los cuales se calcularon índices energéticos mediante el cálculo de la energía de entrada y salida, para poder realizar el balance energético. Como el balance de energía en la producción de biodiésel a partir de palma Da Costa *et al.* (2006), el trabajo realizado por Melo (2007) en un sistema de producción de soya y maíz en el oeste de Paraná, el balance energético en cultivos agrícolas en Rosario realizado por Denoia (2010), y el balance de energía para trigo y cebada en Marruecos (Ramah, 2012). En estas investigaciones se utilizaron parámetros de conversión de las unidades físicas a unidades de energía.

También existen otros trabajos en donde adicionalmente al balance de energía se incluyen las emisiones de CO₂ como indicador de impacto ambiental. Uno de ellos es el realizado por Kaltsas (2007) en dos plantaciones de olivo una convencional y otra orgánica en la isla de Thasos, Grecia.

En México se han realizados estudios para evaluar la factibilidad de producción de biocombustibles. Como el trabajo de Rodríguez et al. (2012) en donde se realizó un Análisis de Ciclo de Vida para la producción de biodiésel a partir del descarte procedente de la industria de la curtiduría en Guanajuato. En este trabajo se analiza el potencial para producir energía y también el potencial económico. Para lo que se calcularon la relación de energía fósil y la relación beneficio – costo, obteniendo resultados positivos.

Otro de los estudios sobresalientes es el realizado por López *et al.* (2011) para el cultivo de higuierilla como materia prima de biodiésel. En este caso se analizaron tres paquetes tecnológicos. El primero consistió en un paquete tecnológico de higuierilla en trópico húmedo y de unicultivo temporal. El segundo es un paquete tecnológico en trópico seco de unicultivo temporal y el tercero es un paquete tecnológico de higuierilla asociado con maíz. En cada uno de ellos se determinó el gasto de energía en tres etapas: agrícola, industrial y de transporte. Para posteriormente compararla con la energía generada.

CAPÍTULO IV ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

El análisis económico es una parte fundamental de las investigaciones ya que al concluir la parte técnica, permite determinar el monto de los recursos económicos necesarios para realizar el proyecto, los costos de operación así como indicadores que sirven como base para determinar la evaluación económica.

La evaluación económica determina la rentabilidad económica de un proyecto para la sociedad en su conjunto (Hernández, 2005).

4.1 RENTABILIDAD

La rentabilidad es la capacidad de generar suficiente utilidad o beneficio. De este modo la rentabilidad es un índice que mide la relación entre las utilidades o beneficios y la inversión o los recursos que se utilizaron para obtenerlos. El término rentabilidad es usado también para determinar la relación que existe entre las utilidades o beneficios de una empresa y diversos aspectos de esta como las ventas, los activos, el patrimonio, etc.

Rentabilidad financiera

Determina la rentabilidad de los recursos invertidos en la realización de un proyecto. Tiene como objetivos: determinar si el proyecto es rentable para invertir en él y medir el rendimiento del capital que aporta cada una de las partes en el financiamiento del proyecto (Muñante, 2002).

4.2 PRINCIPALES INDICADORES FINANCIEROS

Los indicadores financieros son conceptos valorizados que expresan el rendimiento económico y son la base para la toma de decisiones.

4.2.1 Valor Actual Neto (VAN)

Cobian (2012) indica que este método también es conocido como valor presente, es uno de los criterios económicos más utilizados en la evaluación de proyectos de inversión. Es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un número flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual todos los flujos de caja futuros del proyecto. A este valor se le resta la inversión inicial de tal modo que el valor obtenido es el valor actual neto del proyecto.

Su ecuación es la siguiente:

$$VAN = \sum_{t=1}^T B_t (1 + r)^t - \sum_{t=1}^T C_{t\ c} (1 + r)^t$$

Dónde:

Bt: es el beneficio en cada período del proyecto

Ct: son los costos en cada período del proyecto

r: es la tasa de actualización entre 100

t: cada período del proyecto

T: es el número de vida útil del proyecto o período de análisis

(1+r): es el factor de actualización

El VAN consiste en actualizar todos los flujos de caja esperados para lo que se utiliza un tipo de descuento, que es el costo de oportunidad del capital empleado en el proyecto. Una vez actualizados los flujos de caja se le resta el valor de desembolso inicial, de ahí el nombre de Valor Actual Neto. El VAN indica cuánto valor creará o destruirá al utilizar la empresa los recursos financieros.

Este criterio considera viable un proyecto cuando el VAN es positivo, es decir cuando la totalidad de los flujos de caja esperados descontados a una tasa apropiada al riesgo del proyecto supera al coste de realizarlo. Por el contrario si el VAN es negativo sería aconsejable rechazar el proyecto.

4.2.2 Relación Beneficio Costo

Es el cociente que resulta de dividir la suma de beneficios actualizados entre la suma de costos actualizados a una tasa de actualización determinada (Cross, 1996).

$$B/C = \frac{\sum_{t=1}^T B_t (1+r)^t}{\sum_{t=1}^T C_t (1+r)^t}$$

El criterio de aceptación o rechazo se establece en función del valor del indicador en donde la regla de decisión es aceptar como positivos aquellos sistemas productivos donde la RBC sea mayor o igual a 1. Si la relación B/C fuera menor a 1 indicaría que los costos son mayores a los beneficios y por lo tanto indicaría la pérdida por unidad monetaria invertida. $B/C \geq 1$.

Sin embargo este método presenta algunas desventajas, como que la tasa de actualización debe ser adecuada. Otra desventaja es que la R/C es un valor relativo, ya que no se considera la escala del proyecto, y por lo tanto tiene una utilidad limitada en decisiones de grandes inversiones.

4.2.3 Tasa Interna de Retorno (TIR)

Es la tasa de rentabilidad producto de la reinversión de los flujos netos de efectivo dentro de la operación de la empresa y se expresa en porcentaje. Es conocida como la Tasa Crítica de Rentabilidad cuando se compara con la tasa mínima de rendimiento requerida por la empresa para un proyecto de inversión específico.

El criterio de selección a través de este indicador, es aceptar aquellos proyectos cuya TIR sea igual o mayor que la tasa de actualización seleccionada. La TIR expresa la tasa de interés real máxima que podría pagar un proyecto por los recursos monetarios utilizados una vez recuperados los costos de inversión y de operación $TIR \geq$ Tasa de actualización. Es la tasa que hace 0 a la VAN:

$$VAN = \sum_{t=1}^T B_t (1+r)^t - \sum_{t=1}^T C_t (1+r)^t = 0$$

4.2.4 Costos

El costo es un desembolso en efectivo o en especie hecho en el pasado, en el presente o en futuro en forma virtual.

De acuerdo a Baca (1995) los costos se dividen en costos de producción, de administración, de venta, financieros y de capital.

Costos de producción

Los costos de producción son un reflejo de las determinaciones realizadas en el estudio técnico. Los costos de producción se anotan y determinan con las siguientes bases.

- Costo de materia prima
- Costos de mano de obra
- Costo de empaque
- Costo de energía y agua
- Combustibles
- Control de calidad
- Mantenimiento
- Cargos de depreciación y amortización
- Otros costos
- Costos para combatir la contaminación

Costos de administración

Son los costos que provienen de realizar la función de administración de la empresa. Como son los sueldos y los gastos de oficina en general.

Costos de Venta

Estos costos no solo representan los costos de hacer llegar el producto al intermediario o consumidor, sino que implica una actividad más amplia como la investigación y desarrollo de nuevos mercados o productos, la publicidad.

Costos financieros

Son los intereses que se deben pagar en relación con capitales obtenidos en préstamo.

Costo de capital

Para formarse toda empresa se debe realizar una inversión inicial. El capital del que proviene esta inversión puede provenir de diversas fuentes pero independientemente de eso este capital tendrá un costo.

4.2.5 ingresos

El ingreso bruto o valor de la producción es el resultado de multiplicar la cantidad de producto por su precio unitario. El ingreso neto es la diferencia entre el ingreso bruto y los costos totales de producción, es el beneficio que le queda al productor.

CAPÍTULO V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La plantación de higuera genotipo 98 estudiada fue cultivada en los campos experimentales de la Universidad Autónoma Chapingo ubicada en el municipio de Texcoco, Estado de México, por el personal del Grupo de Investigación Interdisciplinario en Higuera.

5.1.1 Localización

Texcoco es un municipio ubicado en la región oriente del Estado de México, sus coordenadas geográficas son 19° 30' N, 98°53' O y se encuentra a una altitud de 2250 msnm. Y colinda al norte con los municipios de Tepetlaoxtoc, Papalotla, Chiautla y Chiconcuac; al sur con Chimalhuacán, Chicoloapan e Ixtapaluca; al oeste con Atenco; y al este con los estados de Tlaxcala y Puebla. Dentro de este municipio se encuentra la Universidad Autónoma Chapingo cuyas coordenadas son 19° 29'N y 98° 53' O y a una altitud de 2250 msnm.



Figura 5.1 Ubicación de la Universidad Autónoma Chapingo

5.1.2 Clima

García (1973) reporta que el tipo de clima es C (w) b1, el cual corresponde a un clima templado con lluvias en verano, con una precipitación anual de 800 mm y una temperatura media anual de 16° C.

5.1.3 Flora y Fauna

Por su clima y su altitud el municipio de Texcoco es propicio para árboles como el pirul, sauce, fresno, nogal, tejocote, chabacano, manzano, etc. Y en las partes altas encontramos oyamel, encino y coníferas. También se encuentran magueyes y nopales.

En cuanto a la fauna se conservan mamíferos como la tuza, conejo y rata de campo. La víbora de cascabel y en cencuate son los reptiles principales. En cuanto a aves están los gorriones, colibríes, palomas, golondrinas y urracas.

Al haber sido una zona lacustre se encontraban pescado blanco, trucha, ranas y acociles pero estas especies han desaparecido en los últimos años (Pulido, 2001).

5.1.4 Suelo

De acuerdo con la carta edafológica de Chalco E14B31 INEGI (1982), se encuentra la siguiente clase de suelo: **Fozem haptico** cuya principal característica es una capa superficial obscura suave, rica en materia orgánica y nutrientes.

5.1.5 Hidrología

Antiguamente Texcoco tenía una gran laguna, que pese a que se ha reducido en forma considerable, es alimentada por los riachuelos Cozcacuaco, Chapingo y San Bernardino.

5.2 MÉTODOLOGÍA

Se realizó un balance energético y una evaluación económica de higuierilla (*Ricinus Communis* L.) para su uso como materia prima de la producción de biodiésel. El trabajo fue hecho a partir de una plantación de higuierilla correspondiente al genotipo 98 proveniente de semillas colectadas en el municipio de Motozintla en Chiapas para el año 2012.

Los datos empleados en este trabajo están basados en información proporcionada por el Grupo de Investigación Interdisciplinario en Higuierilla del proyecto de Mejoramiento Genético de Higuierilla 2011-11-171659 financiado por SAGARPA-CONACYT .

5.2.1 Balance Energético

Después de realizar una amplia revisión de bibliografía acerca de los aspectos que tienen que contemplarse para realizar un balance energético para biocombustibles. El método usado fue el planteado por Pimentel (1980) citado por Melo (2007) el cuál considera todos los ingresos de energía al sistema. Sin embargo no se considera la energía aportada por el sol ni la energía utilizada en etapas anteriores como la usada en la fabricación de la maquinaria.

Para calcular los flujos de energía que ingresaron al sistema, se dividió en tres etapas.

- **Etapas de cultivo:** se considera la producción de biomasa de higuierilla, en la cual se incluyen cuatro fases: la preparación del suelo, la siembra, el manejo del cultivo y cosecha.
- **Etapas de transporte:** comprenden las tareas de transporte desde la parcela donde se cultivó hasta la planta de extracción del biodiésel.
- **Etapas de industrialización:** se incluyen las actividades necesarias para llevar a cabo la conversión de la biomasa en biodiésel.

Los flujos de energía de egreso incluyen el producto final (biodiésel) y los subproductos (glicerina y pasta). Para poder calcular la cantidad de energía de este sistema se convirtieron a unidades de energía todas las unidades físicas participantes en el proceso. Para ello se utilizaron coeficientes de conversión encontradas en la literatura.

El desempeño energético del sistema se midió a través del balance de Energía Neta (EN) y de un índice de eficiencia energético (IE). A través de las siguientes ecuaciones:

La eficiencia energética fue definida por la siguiente ecuación:

$$IE = \frac{\sum EP}{\sum EC} \quad (1)$$

Y la energía neta fue explicada por la siguiente ecuación:

$$EN = \sum EP - \sum EC \quad (2)$$

Dónde:

IE: eficiencia energética

EN: energía neta

$\sum EP$: Total de las salidas de energía

$\sum EC$: Total de las entradas de energía

Para calcular la energía producida se considera la siguiente ecuación:

$$\sum EP = EP_P + EP_S \quad (3)$$

Dónde:

EP_P = Energía de salida de los productos

EP_S = Energía de salida de los subproductos

La energía ingresada se calcula a partir de la energía directa e indirecta en cada etapa determinada por la siguiente ecuación:

$$\sum EC = EC_A + EC_I + EC_T \quad (4)$$

Dónde:

EC_A = Energía consumida en la etapa agrícola

EC_I = Energía consumida en la etapa industrial

EC_T = Energía consumida en la etapa de transporte

5.2.2 ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

Para lo cual se consultaron diversas fuentes de información como SIAP, FAO, CNA, Trade MAP, CFE y CME Group para obtener información acerca de los precios.

Para determinar la rentabilidad financiera se determinaron los costos totales e ingresos del cultivo de higuera para posteriormente determinar los principales indicadores financieros.

El ingreso neto del cultivo de higuera está determinado por la ecuación:

$$IN = IT - CT \quad (5)$$

Dónde:

IN: son los ingresos netos

IT: ingresos totales

CT: costos totales

Los ingresos totales son los beneficios obtenidos a partir de la venta del producto en este caso la semilla de la higuera. Por lo que se representan en la siguiente ecuación.

$$IT = P \times H \quad (6)$$

Dónde:

P: es el precio de la semilla de higuera

H: es la cantidad de semilla producida

Los Costos Totales son el total de gastos ocasionados en el proceso de producción de la semilla de higuera. Representados en la ecuación 7.

$$CT = \sum Ci + \sum Cf + \sum Cm \quad (7)$$

Dónde:

$\sum Ci$: es la suma de los costos de los insumos

$\sum Cf$: es la suma de los costos de la renta de factores (tierra, agua, máquinas)

$\sum Cm$: es la suma del costo de la mano de obra

La Relación Beneficio Costo está determinada por la siguiente ecuación:

$$B/C = \frac{\sum IT}{\sum CT} \quad (8)$$

La VAN está determinada en la ecuación 9

$$VAN = \sum_{t=1}^T IT_t (1 + r)^t - \sum_{t=1}^T CT_t (1 + r)^t$$

Dónde:

r: es la tasa de actualización. Aunque aquí habría que añadir que no se utilizó ninguna actualización ya que el cultivo solo dura menos de seis meses.

t: es cada período del proyecto.

CAPÍTULO VI. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados que se presentan a continuación, obtenidos del proceso de cultivo de la higuera y la posterior producción de biodiésel, se dividen en dos partes para su mejor análisis. La primera parte expone el desempeño energético del proceso y en la segunda parte se muestra la rentabilidad del mismo.

6.1 BALANCE ENERGÉTICO

El balance energético como se mencionó anteriormente es de gran utilidad a la hora de evaluar un biocombustible ya que permite tener una visión acerca de su factibilidad ambiental. En este estudio se dividió el proceso productivo de biodiésel en tres etapas: agrícola, industrial y de transporte. El cálculo de las equivalencias energéticas se llevó a cabo en base a la literatura disponible y a cálculos estimados.

En el Cuadro 6.1 se muestran las equivalencias energéticas de las unidades físicas utilizadas en el proceso, las cuales fueron usadas por Melo (2007) y Ramah (2012). Sin embargo estas equivalencias no fueron propuestas por estos autores sino tomadas de otros trabajos. En el caso de Melo hace referencia a Pimentel (1980) y Ramah se refiere al trabajo de (Olivier, 1999). En el presente estudio se consideró conveniente utilizar las medidas de Ramah.

Cuadro 6.1 Contenido energético de los insumos empleados y las operaciones realizadas en el proceso productivo

Actividad	Unidad	Melo	Ramah
Labores o jornales	Horas	1.96	2.16
Combustible	Litro	40.7	38.59
Lubricante	Litro	45.2	38.57
Tractor	Kg	91.9	21.68 (en h)
Implementos	kg	99.2	
N fertilizante	kg	52.52	50.28
P2O5 Fertilizante	Kg	15.5	12.57
K20 fertilizante	kg	12.1	6.7
Fungicidas	Kg -Litro	414	92.18
Herbicidas	Kg -Litro	267	418.62
Electricidad	KW	9.6	
Semillas	Kg	8	16.85

Fuente: Melo (2007) y Ramah (2012)

Etapas agrícola

La etapa agrícola se dividió en cuatro fases: la preparación del terreno, la siembra, el manejo del cultivo y la cosecha. En cada una de ellas se toman en cuenta las operaciones realizadas y los insumos requeridos para producir en una hectárea de higuierilla de monocultivo. En el Cuadro 6.2 se observa el consumo de energía expresado en MJ ha⁻¹ para cada una de las cuatro fases de la producción agrícola de higuierilla.

Cuadro 6.2 Consumo de energía en la etapa agrícola de la producción de biodiésel

Preparación del suelo (Fase 1)	Actividad	Unidad	Equivalencia Energética (MJ/ Unidad)	Cantidad utilizada Unidades/ ha.	Total de Energía (MJ)
	Uso de maquinaria	horas	21.68	12	260.16
	Combustibles	Litros	38.59	11.7	451.50
	Jornales	horas	2.16	13	28.08
	Electricidad	Kw	9.6	50	480
Total Fase 1					1219.74
Siembra (Fase 2)					
	Jornales	horas	2.16	15	32.40
	Semilla	kg	40.68	3.6	146.45
Total Fase 2					178.85
Manejo del Cultivo (Fase 3)					
	Jornales	horas	2.16	6	12.96
	Fertilizante	kg			257.33
	Herbicidas	Litros	418.62	3	1255.86
Total Fase 3					1526.15
Cosecha (Fase 4)					
	Jornales	h	2.16	72	155.52
Total Fase 4					155.52
Total Etapa Agrícola					3080.269

Fuente: Elaboración propia con datos del GIIHD

El consumo de energía en la etapa agrícola fue de 49 % en el manejo del cultivo debido a la aplicación de herbicida y fertilizantes, el 40 % fue en la preparación del terreno debido al uso de maquinaria, electricidad y combustible. La siembra y la cosecha se hacen en forma manual por lo que el consumo de energía es bajo solo representaron el 11 %. Como se muestra en la Figura 6.1

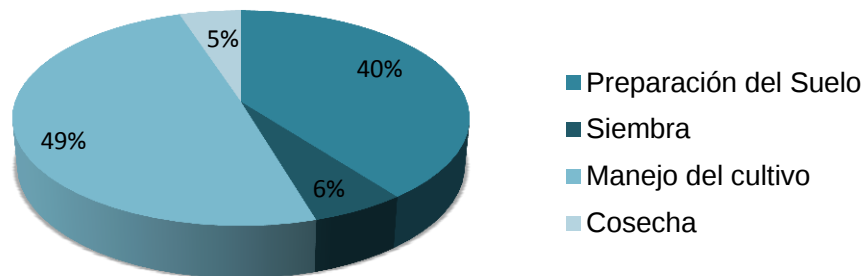


Figura 6.1 Participación del consumo de energía de las fases de la etapa agrícola

Fuente: Elaboración propia con datos del GIIHD

Los resultados encontrados en esta etapa de la producción difieren de los resultados encontrados por López *et al.* (2011) para el cultivo de higuierilla en monocultivo en trópico húmedo ya que encontraron que la mayor parte del consumo de energía se lleva a cabo en la preparación del terreno con un 94 % del total, seguida por la aplicación de herbicida y la siembra con un 6 % del total. Ya que por las condiciones agroclimáticas las labores para la preparación del terreno son mayores y por lo tanto la energía requerida también es mayor debido al uso de maquinaria y combustible. Por otra parte si comparamos los resultados obtenidos con el cultivo de higuierilla en trópico seco tenemos que más del 50 % de la energía consumida es en el manejo del cultivo y el 30 % en la preparación del terreno, debido al uso de una mayor cantidad de fertilizante. La cosecha y la siembra en todos los casos fueron las actividades que menos energía consumieron, ya que son actividades que se hacen de forma manual y por lo tanto la energía requerida para es menor.

Etapas industriales

Para la producción de biodiésel a partir de higuerilla se requiere de dos procesos industriales. El primero es la obtención del aceite de higuerilla mediante la extracción a partir de las semillas. El segundo proceso es la transesterificación de donde se obtiene el biodiésel y la glicerina como subproducto.

En esta etapa se tomó en cuenta un rendimiento de semillas por hectárea de 1.4295 toneladas con un contenido de aceite del 65 % por lo que se obtuvieron 992.8 litros de aceite por hectárea. Ya que para el secado no se requiere de maquinaria no se toma en cuenta esta parte.

Para la transesterificación se ocupa metanol y NaOH como catalizador. En el Cuadro 6.3 se muestran las cantidades de energía de entrada en los dos procesos. Como se puede observar la producción de biodiésel es la que más energía consume debido a un mayor uso de energía eléctrica y debido a las sustancias usadas en el proceso como el metanol y el hidróxido de sodio.

El metanol usado representa una cantidad significativa en la entrada de energía de esta etapa ya que representa el 84 % del total seguido por el uso de energía en el proceso de transesterificación con 9.7 %, la energía eléctrica usada en la extracción del aceite con 5.2 % y el uso de NaOH solamente representó el 0.16 %.

Cuadro 6.3 Consumo de energía en la etapa industrial de la producción de biodiésel

Producción de Aceite	Actividad	Unidad	Equivalencia Energética (MJ/ Unidad)	Cantidad utilizada Unidades/ ha.	Total de Energía (MJ)
	Extracción	kw	9.6	31.71	304.41
Producción de Biodiésel					
	Transterificación	kw	9.6	58.32	559.87
	Metanol	l	19.7	248.2	4,889.54
	NaOH	kg	1.51	6.205	9.36
Total					5,763.19

Fuente: elaboración propia con datos de GIIHD

Los resultados encontrados en esta etapa señalan al igual que en el trabajo de López *et al.* (2011) que se requiere de una mayor cantidad de energía en la producción del biodiésel sin embargo la diferencia de entre las cantidades de energía señaladas en los dos trabajos son muy significativas ya que mientras que en el trabajo de López se señala que alrededor de 1545 MJ se requieren en este proceso, en el presente estudio se encontró que son 5763 MJ para producir biodiésel.

La diferencia entre la cantidad de litros de aceite procesados es de alrededor de 62 litros, en el presente trabajo el total de litros de aceite a convertir es de 992 mientras que en el trabajo de López es de 930 litros, las consideraciones de la planta industrial fueron planteadas en las mismas condiciones. Sin embargo en el balance energético que se hizo para este estudio se contempló la energía contenida en el metanol y NaOH.

Bajo la consideración de que la relación de conversión de aceite a biodiésel es de 1: 1 entonces encontramos que la cantidad de biodiésel producido en una hectárea del cultivo de higuierilla genotipo 98 es de aproximadamente 992 litros de biodiésel.

Etapas de transporte

En el cuadro 6.4 se presentan los resultados del consumo de energía derivado del transporte. El consumo es de 3,164 MJ considerando que este genotipo fue colectado en el municipio de Motozintla en Chiapas, por lo que se contabilizó un total de 82 litros de diésel para su transporte hasta Texcoco para un total de 1100 km. En Texcoco fue donde se llevó a cabo todo el proceso de producción de biodiésel desde la siembra de higuierilla hasta la transesterificación del aceite.

Cuadro 6.4 Gasto de energía en la etapa de transporte de la producción de biodiésel

Transporte	Unidad	Equivalencia Energética (MJ/ Unidad)	Cantidad utilizada Unidades/ ha.	Total de Energía (MJ)
Diésel	litros	40.7	82	3,164.38
Total				3,164.38

Fuente: Elaboración propia con datos del GIIHD

El flujo total de energía de entrada del proceso de producción de biodiésel a partir de aceite de higuierilla es de 12,007.84 MJ.

La cantidad de energía necesaria en cada una de las etapas se muestra en el Cuadro 6.5 en donde se puede observar que la etapa que requiere de una mayor cantidad es la industrial.

Cuadro 6.5 Resumen de la energía consumida en las tres etapas de producción de biodiésel

Etapas	MJ
Agrícola	3,080.26
Industrial	5,763.20
Transporte	3,164.38
Total	12,007.84

Fuente: Elaboración propia con datos de GIIHD

Los resultados obtenidos son un poco diferentes a los obtenidos por López *et al.* (2011) ya que en su trabajo se muestra que la cantidad de energía usada en las actividades agrícolas es superior, la etapa industrial fue la que siguió y por último la etapa de transporte. La diferencia en la energía de entrada para cada etapa es debido a un uso de maquinaria y de combustibles, mayor ya que las actividades para la preparación del terreno fueron mayores, mientras que en la actividad industrial no se contabiliza la energía de los insumos requeridos para la producción de biodiésel. Otro factor importante es que la semilla para el presente estudio fue colectada en el estado de Chiapas y cultivada en Texcoco lo que implica que la semilla tiene que transportarse lo que agrega un mayor uso de combustible al proceso.

Los resultados del presente estudio muestran que la etapa agrícola consume el 26 %, la industrial el 48 % y la etapa de transporte el 26 %, (Figura 6.2) mientras que en el trabajo de López *et al.* (2011) la etapa agrícola consume el 44 %, la industrial el 34 % y la etapa de transporte el 23 %.

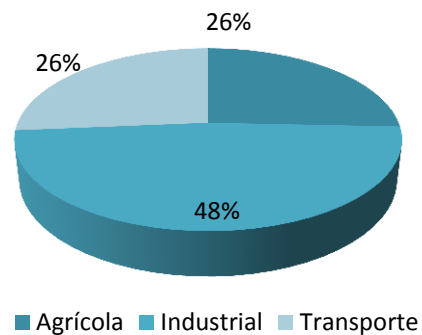


Figura 6.2 Participación en el consumo de energía de las etapas de producción de biodiésel

Fuente: Elaboración propia con datos de GIIHD

La producción de energía derivada del cultivo de higuierilla, extracción del aceite y producción del biodiésel así como la energía producida por los subproductos se muestra en el Cuadro 6.6, cabe señalar que el aceite fue convertido a biodiésel y que la biomasa contabiliza también la energía contenida en las semillas.

Cuadro 6.6 Energía producida en el proceso de producción de biodiésel a partir de higuera

Producto	Unidad	Cantidad Producida Unidades/ha.	MJ/unidad	Total de Energía (MJ)
Biomasa	kg	14,078.63		2,586,398.98
Pasta	kg	490.80	359.99	176,681.46
Aceite	Litros	992.81	40.68	40,387.64
Glicerina	Litros	76.65	17.05	1,306.80
Biodiésel	Litros	992.81	38	37,726.90

Fuente: Elaboración propia con datos de GIIHD

Tomando en cuenta el contenido energético del biodiésel producido y de la energía requerida para producirlo, se realizó el balance energético del proceso como se muestra en el Cuadro 6.7.

Cuadro 6.7 Balance de energía del proceso de producción de biodiésel a partir de higuera

Balance Energético	Biodiésel
Etapas agrícolas	3,080.27
Etapas industriales	5,763.19
Transporte	3,164.38
Total de energía consumida (MJ/ha)	12,007.84
Energía Producida (MJ/ha)	37,726.90
Energía Neta (MJ/ha)	25,719.06
Índice Energético	3.14

Fuente: Elaboración propia con datos de GIIHD

La energía neta del proceso es significativa ya que la energía de salida es superior a la energía de entrada dando como resultado 25,719 MJ de energía neta resultante que es el doble de la energía requerida para su producción. En cuanto al índice energético es de 1: 3.14 es decir por cada unidad de energía que se introduce al sistema se obtienen 3.14 unidades de energía lo cual es

muy significativo debido a que el valor para ser aceptado como una fuente de energía alternativa debe ser mayor que 1 a pesar de las diferentes tecnologías y condiciones de cada país (Janulis, 2004).

La relación energética encontrada en el trabajo de López *et al* (2011) para el caso de higuierilla en trópico húmedo en monocultivo fue de 1: 3.88 que es muy similar al encontrado en el trabajo. Y de 1: 4.72 en trópico seco como monocultivo. Pero también encontraron que la relación energética puede ser más favorable si se asocia con maíz obteniendo un índice de 1: 5.2.

Por otra parte si se contabiliza la energía contenida en los subproductos también, es decir la energía contenida en el biodiésel, pasta y glicerina, entonces se obtiene que la producción de energía es 215,715 MJ y un índice energético de 1: 16.96 (Anexo 1). Lo que incrementa de manera ampliamente significativa la energía obtenida del proceso ya que por cada unidad de energía que entre en el sistema se obtendrán 16.96 unidades de energía.

Si contabilizamos también la energía contenida en la biomasa producida por el cultivo (materia orgánica, glicerina, pasta y biodiésel), tenemos que la energía neta es de 2, 613,424 MJ y el índice energético de 1: 218.64 (Anexo 2). De este modo la energía neta producida es mucho mayor que la requerida para producirla ya que por cada unidad de energía entrante al sistema producirá 218.64 unidades de energía.

En base a lo anterior se puede observar que la energía requerida para producir biodiésel a partir de higuierilla es menor que la energía que se obtiene. Ya sea

únicamente del biodiésel o contabilizando los subproductos. Por lo que se puede determinar que el uso de aceite de higuera tiene potencial como materia prima para la producción de biodiésel desde el punto de vista ambiental.

6.2 ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

En relación al análisis de rentabilidad del proceso de producción de higuera se realizó el cálculo de los costos e ingresos totales para la determinación de la rentabilidad del proyecto.

Ya que técnicamente es conveniente la producción de biodiésel a partir de higuera es importante también determinar su conveniencia económica. Para de este modo establecer la factibilidad de producir biodiésel a partir de higuera.

El costo de producir biodiésel tiene como principal determinante el costo de la materia prima que se usa, en este caso la semilla de higuera, entre más bajo sea el costo de la materia prima más bajo será el costo del biodiésel.

6.2.1 Costos del cultivo de higuera

Los costos de producir higuera en una hectárea son desglosados en el Cuadro 6.8. De donde se puede observar que el costo total de producir higuera es de 8,123 pesos, la mano de obra es el factor que tiene un costo mayor, representa el 50 %, la renta de la tierra y de la maquinaria agrícola también son factores

que tienen un costo significativo dentro del total (33 %), los demás insumos requeridos representan el 15 % de los costos.

Cuadro 6.8 Costos de producir higuera en una hectárea

Conceptos	Unidades	Costo
Insumos		
Semillas	\$/kg	21.6
Fertilizantes	\$/kg	500
Herbicidas	\$/Litro	350
Mano de Obra		
Preparación de Suelos	\$/labor	240
Siembra	\$/labor	240
Fertilización	\$/labor	120
Control de malezas	\$/labor	120
Cosecha	\$/labor	3240
Manejo Post cosecha	\$/labor	120
Combustible	\$/ha	147.36
Equipo	\$/ha	1200
Agua	\$/ ha	0
Tierra	\$/ha	2000
Electricidad	\$/ha	24
Total		8,323.06

Fuente: Elaboración propia con datos de GIIHD

El número de jornales necesarios para producir higuera bajo estas condiciones es de 34 jornales. El trabajo que requirió de una mayor cantidad de jornales fue la cosecha ya que se hace de forma manual, y puesto que la preparación del terreno se lleva a cabo de forma mecanizada no se requiere de mucho personal. Debido a que el ricino no es un cultivo muy exigente y a su naturaleza de maleza, su manejo se limitó al uso de fertilizante (triple 15) usando 25 kg por hectárea y 3 litros de herbicida en las primeras etapas de la plantación para eliminar la competencia con otras malezas. Dentro de los

costos se contabilizó la renta del terreno, la luz que se usó para el riego, el precio del agua no se contabilizó ya que no se rebaso el límite de agua para uso agrícola asignado. El uso de insumos y factores productivos es detallado en el Anexo 3 y 4.

6.2.2 Ingresos de la producción de higuera

Los ingresos obtenidos considerados fueron a partir de la venta de la semilla en el mercado nacional. La producción de semilla estimada para una hectárea, con una densidad de población de 2500 plantas, fue de 1.442 toneladas. El precio por kilogramo reportado en el mercado nacional es de 5.5 pesos. Por lo que se obtuvo un ingreso de 7,931 pesos por hectárea. En este caso los costos superan en 392 pesos a los ingresos totales.

Las ganancias obtenidas a partir del cultivo de higuera son negativas bajo las condiciones actuales de producción y comercialización, ya que el cultivo no se ha establecido de manera comercial. Sin embargo en otros estudios se ha encontrado que la producción de higuera puede ser rentable si se asocia a otros cultivos básicos como el maíz y frijol (Rodríguez y Zamarripa, 2013).

6.2.3 Indicadores de rentabilidad del cultivo de higuera

El Valor Actual Neto

El valor actual neto de la producción de higuera es el valor actualizado de las ganancias pero en este caso no se requiere de hacer una actualización ya que es el valor presente lo que se obtuvo. En este estudio fue negativo porque en lugar de ganancias se tuvo una pérdida de 392 pesos. El resultado obtenido indica que la producción de higuera no es rentable ya que sólo se obtendrían pérdidas bajo las condiciones analizadas.

La Relación Beneficio/Costo

Al ser negativas las ganancias la relación B/C es menor a 1, en este caso fue de 0.95 es decir por cada peso que se invierte se obtienen 95 centavos. El resultado bajo los principios económicos de obtener ganancias no es conveniente.

Cuadro 6.9 Resumen de los indicadores financieros del cultivo de higuera

Indicadores Financieros	
Costos	8,123
Utilidades	7,931
Utilidad Neta	-187.46
VAN	-187.46
B/C	0.97

Fuente: Elaboración propia con datos de GIIHD

Los resultados obtenidos fueron diferentes a los encontrados en el trabajo por Rodríguez y Zamarripa (2013) ya que ellos determinaron que el cultivo de higuera si es rentable. Sin embargo las diferencias radican en que su estudio

se basó en higuierilla asociada a frijol y maíz, en donde encontraron que la higuierilla es más rentable cuando se intercala con maíz de riego ya que este cultivo da un valor agregado mayor que si solo se considera el cultivo de higuierilla. Otro factor importante es que en su estudio consideran un apoyo de PROCAMPO de 1200 pesos por hectárea lo cual reduce los costos.

La venta de la semilla de higuierilla no es una actividad rentable, no obstante vender el aceite extraído de la misma sí es una actividad que puede aumentar los ingresos de manera significativa. Ya que el precio del aceite de ricino en el mercado es de 20 pesos por litro y dado que en México se importaron en el año 2012 más de 3 mil toneladas de aceite de ricino según el Centro Internacional de Comercio. Por lo que la oportunidad de sustituir esas importaciones por producción nacional puede ser factible.

En este caso se puede agregar valor al producto y obtener mayores ganancias no sólo por la venta del aceite sino también por la venta de la pasta que resulta de la extracción y que tiene un precio de 5 pesos por kilogramo.

Debido a que no se cuentan con los datos correspondientes a los costos de extracción de aceite de higuierilla y de producción de biodiésel, ya que el GIIHD hace la transformación a nivel experimental, no se pudo realizar el análisis de rentabilidad para estas etapas de producción de biodiésel.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El proceso de producción de biodiésel a partir de la higuera genotipo 98 resulta una opción viable como fuente de energía renovable. El balance energético sirvió como un indicador para evaluar una parte de su desempeño ambiental. El balance de energía resultó positivo con un índice de energía de 3.14 lo que significa que a pesar de que en México el tema de los biocombustibles aún se encuentra en desarrollo, existen posibilidades de poder generar insumos adecuados para la producción de biodiésel.

En el estudio se encontró que la mayor cantidad de energía consumida fue en la etapa de producción industrial, ya que la tecnología todavía no está muy desarrollada y los procesos pueden hacerse más eficientes. Con un mayor desarrollo de la tecnología y las investigaciones que recientemente se están haciendo en el ámbito de los bioenergéticos el balance de energía puede mejorarse de manera considerable mediante el uso de variedades mejoradas que tengan un mayor rendimiento, así como el uso de maquinaria que tenga un menor gasto energético. Otra consideración que debe hacerse es que la semilla fue colectada en Chiapas y esto agregó una gran cantidad de energía al proceso, pero esta cantidad de energía se eliminará en los siguientes períodos de producción de biodiésel, porque la semilla será seleccionada de la cosecha anterior.

Considerando lo anterior la higuera es un cultivo que tiene un gran potencial para su uso como materia prima en la producción de biodiésel.

Por otra parte al evaluar la rentabilidad del proceso de producción de higuera para su uso para producir bioenergéticos resultó que no es una actividad económicamente viable ya que no existen ganancias netas bajo el sistema productivo y comercial actual. Lo que indica que invertir en la producción de higuera como único cultivo no es conveniente.

Sin embargo si su producción es asociada a otros cultivos la rentabilidad puede ser positiva y convertirse en una opción de generar mayores ingresos.

Otro aspecto que se debe contemplar es que los costos de producción agrícola pueden mejorarse ya que aún se están estudiando y mejorando las variedades para obtener mejores rendimientos. De igual forma el mercado de la semilla de ricino en el país no es de gran relevancia. No obstante la industrialización de la semilla puede generar mayores beneficios al aumentar su valor agregado. El aceite es muy apreciado en la industria y la posibilidad de usarlo en la fabricación de biocombustibles convierte a la higuera en un cultivo con un amplio potencial de desarrollo.

El mercado de biodiésel en México es todavía incipiente, no obstante con las políticas que dirigen el sector energético hacia el uso de energías renovables, este tipo de combustibles cada vez se hacen más relevantes. De ahí la importancia que tiene generar fuentes de energía renovables eficientes.

A pesar de que la higuera no es económicamente viable puede ser una alternativa para producir biocombustibles si se incentiva la producción y se produce de manera más eficiente.

LITERATURA CITADA

- Ascheri, J. L. R., P. de Carvalho C. W., M. Arévalo A, L. T Machado O. y P. Stephan M. Caracterización físico-química de pellets extruídos de torta de higuera (ricinus comunis l) visando su uso en alimentos balanceados.
- Baca, U., G. 1995. Evaluación de Proyectos. Análisis y administración del riesgo. Editorial McGraw Hill. 383p.
- Benavides, A., P Benjumea y V. Pashova, 2007. El biodiésel de aceite de higuera como combustible alternativo para motores diesel. Dyna, No.74. 141-150 pp.
- Bretz, R. y P. Frankhouser. 1996. Screening LCA for large numbers of products: Estimation tools to fill data groups. In: The International Journal of Life Cycle Assessment. Vol. 1. No. 3. 139-146 pp.
- Cobian, R., L. 2012. Valores críticos para la evaluación de una empresa que inicia con opciones reales de crecimiento. Colegio de Posgraduados.
- Comisión Nacional del Medio Ambiente de Chile y Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). 2001. Guía Metodológica de Estudio de Ciclo de Vida. 30 p.
- Cross, R. 1996. Análisis y Evaluación de Proyectos de Inversión. Limusa.
- Da Costa R., E., E. Lora E., Y. Angarita E. y E. Torres. 2006. The energy balance in the production of palm oil biodiesel two case studies: Brazil and Colombia. In Proceedings, World Bioenergy.
- Da Silva, D.S., R. Presotto, H. Botelo M. y E. Zonta. 2012. Uso de torta de mamona como fertilizante orgánico. Pesquisa Agropecuária Tropical, vol. 42, núm. 1. 19-27 pp.

- Dahllöf, L. 2003. Life Cycle Assessment (LCA) applied in the textile sector: the usefulness, limitations and methodological problems. ESA-Report 2003. Göteborg, Sweden: Chalmers University of Technology. 16 p.
- Denoia, J., y S. Montico. 2010. Balance de energía en cultivos hortícolas a campo en Rosario (Santa Fe, Argentina). Ciencia, docencia y tecnología. 145-157 pp.
- Dufey, A. y D. Stange. 2011. Estudio regional sobre la economía de los biocombustibles en 2010: temas clave para los países de América Latina y el Caribe. CEPAL 93 p.
- Farrell A., E., R. J. Plevin, B. T Turner., A. D.Jones, M. O'hare y D. M. Kammen 2006. Ethanol can contribute to energy and environmental goals. 506-508 pp.
- García E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen, Universidad Autónoma de México. Instituto Nacional de Geografía. 246 pp.
- Hernández M., M., A. Zamarripa C., R. Teniente O., A. González A. y J. Solís B. 2011. Guía Técnica para la producción de higuera (Ricinus Communis L.) en Guanajuato. Folleto Técnico Núm. 1. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo experimental Bajío.
- INCPEN, The Industry Council for Packaging and the Environment. 1996.
- I Culla, A. P. 1982. Balance energético y costo ecológico de la agricultura española. Agricultura y Sociedad No. 23, 289-300 pp.
- Janulis, P. 2004. Reduction of energy consumption in biodiesel fuel life cycle. Renewable energy, No. 29. 861-871pp.

- Kaltsas A., M., A. P. Mamolos, C. A. Tsatsarelis, G. D. Nanos, y K. L. Kalburtji. 2007. Energy budget in organic and conventional olive groves. *Agriculture, ecosystems and environment* No. 22, 243-251 pp.
- Lobato, V., J. Hilbert, A. Tarifa, E. Mantovani, M. González, E. Álvarez y J. Sawchick 2007. Metodología para optimizar el análisis de materias primas para biocombustibles en los países de Cono Sur. PROCISUR, IICA, Montevideo.
- López A., L., J. Solís B., B.B. Martínez V., V.H. Díaz F. y A. ZamarripaC. 2011. Balance energético del cultivo de higuerilla (*Ricinus Communis* L.) para biodiésel. Folleto Técnico Núm. 15. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo experimental Rosario Izapa, Tuxtla Chico, Chiapas. México. 53 p.
- Malça, J. y F. Freire. 2006. Renewability and life-cycle energy efficiency of bioethanol and bio-ethyl tertiary butyl ether: assessing the implications of allocation. *Energy*, No.31, 3362-3380 pp.
- Márquez, L. 2001. Maquinaria para la preparación del suelo, la implementación de los cultivos, y la fertilización. Cuadernos de Agronomía y Tecnología. B y H editores. Madrid, España. 496 p.
- Martínez, M. 1979. Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas. Fondo de Cultura Económica. México, D.F.
- Mascarenhas, M.H.T. 1981. Controle de plantas daninhas na cultura da mamoneira. Informe Agropecuario No. 7. 35-36 pp.
- Mazzani, B. 1983. Cultivo y mejoramiento de plantas oleaginosas. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Caracas, Venezuela. 629 p.
- Melo, D., J. Pereira, E. Souza, A. Filho, L. Nóbrega, y R. Neto. 2007. Balanço energético do sistema de produção de soja e milho em uma

propriedade agrícola do Oeste do Paraná. Acta Scientiarum Agronomy No.29.

Muñante, P., D. 2002. Apuntes para el curso de formulación y evaluación de proyectos. Universidad Autónoma Chapingo. 154p.

Ortega-Blu R., A., E. Muñoz-Lagos R., G. Acosta-Espejo L. y A. González-Platteau, R. 2010. Biocombustibles en Chile. I. Identificación y balance energético de la producción de materias primas y de biocombustibles. Agrociencia No.44, 611-622 pp.

Pradhan, A., D. S. Shrestha, J. V. Gerpen, y J. Duffield. 2008. The energy balance of soybean oil biodiesel production: a review of past studies. Transactions of the ASAE (American Society of Agricultural Engineers) No. 51,185 p.

Proaño M., P. M. 2010. Investigación de la utilización del aceite de higuera como combustible alternativo al 5-10% en motores diésel con bomba de alta presión convencional.

Pulido A. R. 2001. Texcoco Monografía Municipal. Instituto Mexiquense de Cultura.

Ramah, M., y E. H. Baali 2012. Energy balance of wheat and barley under Moroccan conditions. In Energy, biomass and biological residues. International Conference of Agricultural Engineering-CIGR-AgEng 2012: Agriculture and Engineering for a Healthier Life, Valencia, Spain, 8-12 July 2012. C-0822 pp.

REN21. 2012. Renewables 2012 Global Status Report. http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/%20GSR_2012%20highres.pdf consultado el 30 de enero de 2013.

- Robles S., R. 1980. Producción de oleaginosas y textiles. Ed. LIMUSA. México. 507-508 pp.
- Rodríguez, B. I. R. 2003. El análisis del ciclo de vida y la gestión ambiental. Boletín IIE, 91-97.
- Rodríguez I., J.J., J. T. Frías H. y V. H. Rangel H. 2012. Análisis del ciclo de vida de la producción de biodiésel a partir del descarte proveniente de la industria de la curtiduría. Acta Universitaria vol. 22, no 7. 5-13 pp.
- Rodríguez, H., R. y A. Zamarripa C. 2013. Competitividad de la higuera (Ricinus Communis) para biocombustible en relación a los cultivos actuales en el edo. De Oaxaca, México. Revista Mexicana de Agronegocios, Vol.17 No. 32, 306-318 pp.
- Rzedowski G., C. 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. 2a ed. Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán, México.
- Secretaría de Energía, Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). 2006. Potenciales y viabilidad del uso de bioetanol y biodiésel para el transporte en México.
- Sepúlveda, G., I. 2012. Bioturbosina. Producción de cultivos energéticos para la aviación comercial. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.3 No. 3. 579-594 pp.
- Shapouri, H., J. A. Duffield, y M. Q. Wang. 2002. The energy balance of corn ethanol: an update No. 34075. United States Department of Agriculture, Economic Research Service.
- Secretaría de Energía (SENER). 2012. Prospectiva de Energías Renovables 2012 -2016. 156 p.

Singh, A., D. Pant, y S. I. Olsen. 2013. Life Cycle Assessment of Renewable Energy Sources.

Sistema Integrado de Información Taxonómica SIIT*mx. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.<http://siit.conabio.gob.mx> (Fecha de consulta: abril de 2013)

Society of Environmental Toxicology and Chemistry. 1993. Guidelines for Life Cycle Assessment: a code of practice.

Solís B, J.L., A. Zamarripa C., A. González A., H.R. Rico P., L.M. Tapia V., R. Teniente O., M. Zacarías G., J.R. Cruz R. y M. Hernández M. 2011. Guía técnica para la producción de higuera (Ricinus communis L.) en Chiapas. Folleto Técnico No. 25. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Rosario Izapa, Tuxtla Chico, Chiapas. México. 59 p.

Vavilov N., N. I. 1992. Origin and geography of cultivated plants. V. F. Dorofeev Ed. Cambridge University Press. 505 p.

Weiss, E.A. 1983. Oilseed Crops. Longman, London, 660 p.

Zamarripa C., A. 2011. Informe final de proyecto Estudio de Insumos para la Obtención de Biocombustibles en México. Convenio de colaboración SAGARPA-INIFAP. 129 p.

PÁGINAS CONSULTADAS

www.fao.org

www.economia-sniim.gob.mx

www.cna.gob.mx

www.cfe.gob.mx

www.siap.gob.mx

www.bancomundial.org

www.cmegroup.com/es

www.solben.org.mx

www.trademap.org/index.aspx

ANEXOS

Anexo 1 Balance Energético considerando la energía contenida en el biodiésel y los subproductos.

Balance Energético	Biodiésel, Glicerina y Pasta
Etapa agrícola	3,080.27
Etapa industrial	5,763.20
Transporte	3,164.38
Total de energía consumida (MJ/ha)	12,007.85
Energía Producida (MJ/ha)	215,715.18
Energía Neta (MJ/ha)	203,707.33
Índice Energético	16.96

Fuente: Elaboración propia con datos del GIIHD

Anexo 2 Balance Energético considerando la energía contenida en el biodiésel, subproductos y biomasa obtenida de su cultivo.

Balance Energético	Biodiésel, Glicerina, Pasta y biomasa
Etapa agrícola	3080.27
Etapa industrial	5763.20
Transporte	3164.38
Total de energía consumida (MJ/ha)	12007.85
Energía Producida (MJ/ha)	2585045.05
Energía Neta (MJ/ha)	2573037.20
Índice Energético	215.28

Fuente: Elaboración propia con datos del GIIHD

Anexo 3 Cantidades de insumos y factores de la producción para el cultivo de higuera.

Conceptos	Unidades	Cantidades
Insumos Intermedios		
Semillas	kg/ha	3.6
Fertilizantes	kg/ha	25
Herbicidas	Lt/ha	3
Mano de Obra		
Preparación de Suelos	labor/ha	2
Siembra	labor/ha	2
Fertilización	asistencia técnica	1
Control de malezas	labor/ha	1
Cosecha	labor/ha	27
Manejo Post cosecha	labor/ha	1
Combustible	Lt/ha	12
Equipo	Tractor/ha	2
Agua	M3/ha	6000
Tierra	renta/ha	1
Electricidad	kwh	50
Capital	tiempo hasta el pago	10
Rendimiento		
Producción	toneladas de grano/ha	1.442

Fuente: Elaboración propia con datos del GIIHD

Anexo 4 Precios de los insumos y factores de la producción para el cultivo de higuera

Conceptos	Unidades	Cantidades
Insumos Intermedios		
Semillas	\$/kg	6
Fertilizantes	\$/kg	20
Herbicidas	\$/Lt	116.7
Manejo Post cosecha	insumos	
Mano de Obra		
Preparación de Suelos	\$/labor	120
Siembra	\$/labor	120
Fertilización	\$/asistencia técnica	120
Control de malezas	\$/labor	120
Cosecha	\$/labor	120
Manejo Post cosecha	\$/labor	120
Combustible	\$/lt	12.28
Equipo	Tractor/ha	600
Agua	\$/m3	0
Tierra	\$/renta	2000
Electricidad	kwh	0.48
Rendimiento		
	toneladas de	
Producción	grano/ha	5500

Fuente: Elaboración propia con datos del GIIHD