

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LA JATROPHA Y LA HIGUERILLA COMO INSUMOS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL Y SU POTENCIAL EN LA MITIGACIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN DOCTORAL PRESENTADA POR:

M. EN C. ALFREDO FERNANDO FUENTES GUTIÉRREZ

DIRECTOR:	DR. OMAR R. MASERA CERUTTI (CIECO)	_____
COMITÉ	DR. OLIVER PROBST	_____
TUTORAL	DR. JAVIER E. AGUILLÓN	_____
	DR. FRANCISCO LOZANO	_____
	DRA. ROSA ELVA	_____

NOVIEMBRE, 2006

1. PRESENTACIÓN

En México, son pocos pero fructuosos los esfuerzos que hasta el momento se han desarrollado en materia ambiental y sobre todo en el desarrollo de tecnologías energéticas amigables con nuestro entorno. Sobresale por ejemplo, la intervención de diversas organizaciones que han tratado de colaborar en forma real mediante la promoción de documentos y/o reglamentos que intenten cubrir las necesidades de todos los involucrados en procesos bioenergéticos tales como la Ley de Energías Renovables y de Bioenergéticos. En este mismo contexto, el Estado de Michoacán desde hace varios años ha realizado acciones que lo colocan como uno de los Estados pioneros en la promoción de tareas enfocadas hacia la utilización de energéticos renovables y de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero: seminarios sobre energía renovable, foros sobre las posibles acciones del Estado ante el protocolo de Kyoto y últimamente la incursión en la investigación sobre temas relacionados con el bioetanol y el biodiesel.

Después de participar en un proyecto sobre Producción y uso del biodiesel en el Estado de Michoacán, surge la necesidad de ampliar el conocimiento hacia dos cultivos que tienen un potencial muy alto de utilización como materia prima para la producción de biodiesel en el Estado de Michoacán: la *jatropha curcas* y la higuierilla. La experiencia indica que los cuidados mínimos de cultivo de estas oleaginosas y el alto contenido de aceite de sus semillas, las colocan en una posición ventajosa con respecto a otros tipos de cultivos energéticos. Sin embargo, hace falta generar los conocimientos necesarios para establecer las condiciones específicas en toda la cadena productiva del biodiesel en el Estado de Michoacán.

El estudio propuesto pretende caracterizar y documentar las propiedades de las semillas de *jatropha* e higuierilla en la producción de biodiesel, así como la posible utilización energética alterna de los subproductos.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. CONSIDERACIONES GENERALES DEL BIODIESEL

El biodiesel es un combustible líquido que se obtiene de productos renovables como las grasas animales y los aceites vegetales derivados de plantas oleaginosas (soya, colza, cacahuete, girasol, higuierilla, *jatropha*), así como de las grasas y aceites de cocina reciclados. Es un combustible que puede llegar a ser puro, además de ser biodegradable y no tóxico (es menos tóxico que la sal de mesa) y prácticamente libre de azufre y compuestos aromáticos. La ASTM (American Society for Testing and Materials) define al biodiesel como “El éster monoalquílico de cadena larga de ácidos grasos derivados de recursos renovables, como por ejemplo aceites vegetales o grasas animales, para utilizarlos en motores Diesel”. Puede usarse como combustible al 100% (B100), como una base de mezcla para el diesel de petróleo (B20), o en una proporción baja como aditivo del 1 al 5%.

Son muchos los beneficios que se obtienen de la producción de biocombustibles para fines energéticos, se considera en primer lugar la emisión casi nula de CO₂ (Figura 1), uno de los dos principales responsables del calentamiento global (el otro es el CH₄).

Algunas ventajas operativas y técnicas del biodiesel respecto al diesel son (Villegas *et al*, 2005): Mínimas diferencias en torque, potencia y consumo de los motores; mayor punto de ignición lo que reduce el peligro de explosión por emanación de gases; Índice de cetano promedio de 55; mayor lubricidad que favorece el funcionamiento del circuito de alimentación y de la bomba de inyección; no se requieren mayores modificaciones al motor diesel convencional para su uso, obteniéndose similares rendimientos; no demanda modificaciones en la infraestructura de distribución y venta de combustibles ya instalada.

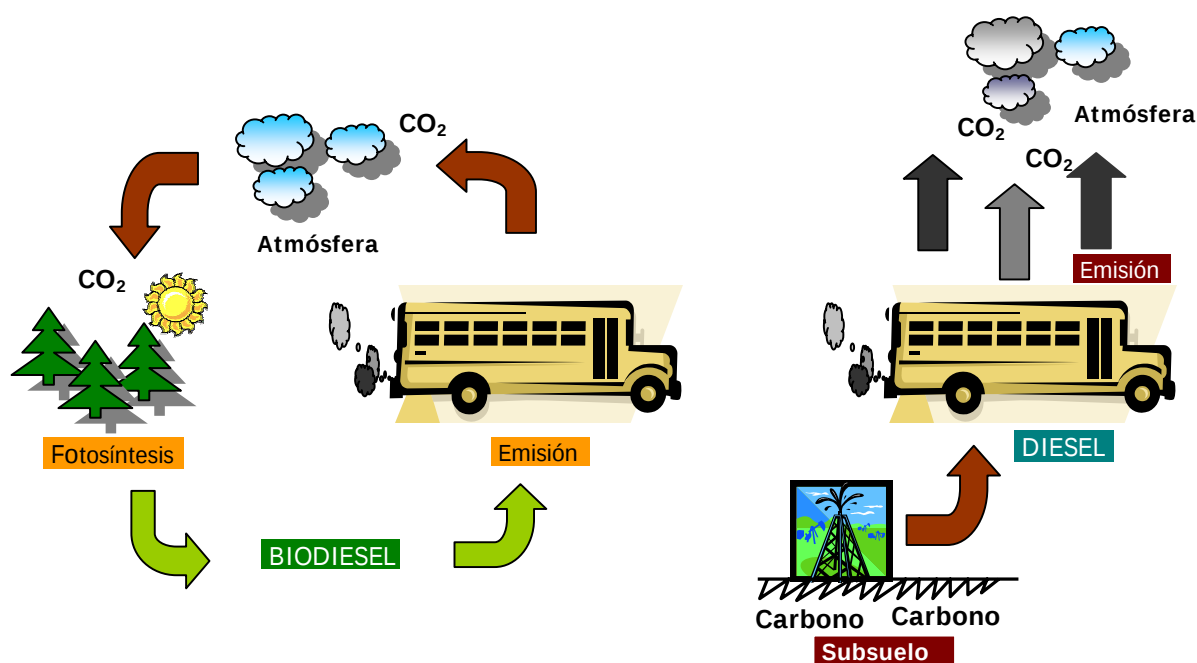


Figura 1. Ciclo del CO₂ desde el biodiesel y emisión del CO₂ desde el diesel

Algunas ventajas ambientales del uso de biodiesel en lugar del *petrodiesel* además de la ya comentada reducción de emisiones de CO₂, son su alta biodegradabilidad, comparable a la de la dextrosa, y que no contiene azufre lo cual permite el uso de catalizadores para mejorar la combustión y minimizar los gases en escape. En la Tabla 1, se muestran los diferentes compuestos y su reducción porcentual de emisión al usar biodiesel en lugar del diesel derivado del petróleo.

De no menor importancia son las ventajas socioeconómicas que en términos de microeconomía puede representar la producción de biodiesel donde puede resultar ventajoso para el autoabastecimiento de combustible al productor agropecuario y además, en términos de macroeconomía, puede cubrir una gran parte de la dependencia de los países agro-productores del abastecimiento de combustibles fósiles por parte de los países productores de petróleo.

A pesar de todas las ventajas mencionadas anteriormente, algunas limitaciones son generadas por la alta dependencia del costo de las materias primas (sobre todo en cadenas productivas “cortas” donde el aceite se recibe como materia prima para llevar a cabo el proceso de transesterificación); por la viabilidad sólo para grandes producciones de la purificación de la glicerina (co-producto del biodiesel); los problemas de fluidez del biodiesel a temperaturas menores de a 0°C) así como su escasa estabilidad oxidativa que no permite su almacenamiento por más de seis meses y su posible incompatibilidad con algunos plásticos lo que hace necesario sustituir algunos componentes del motor (magueras, juntas, sellos, diafragmas, partes de filtros y similares).

Tabla 1. Reducción de emisiones por el uso de biodiesel

ITEM	Reducción de emisión
Dióxido de carbono (CO ₂)	95-100% *
Dióxido sulfuroso (SO ₂)	100%
Hollín	40-60%,
Hidrocarburos (HC)	10-50%.
Monóxido de carbono (CO)	10-50%
Hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs)	10-50%
Derivados de comprobada acción cancerígena	
Fenantrén	97%
Benzofluorantren	56%
Benzopirenos	71%
Compuestos aromáticos y aldehídos	13%
Óxidos nitrosos (NOx)	5-10% (reducen o aumentan de acuerdo con el desgaste del motor y la calibración de la bomba de inyección)

* Las emisiones de CO durante el ciclo de vida total del B100 son 78.45% más bajas que aquellas debidas al diesel de petróleo, y una mezcla de biodiesel B20 reduce las emisiones por un 15.66%. Utilizando la mezcla B100 en autobuses, se reduce el ciclo de vida de consumo de petróleo por 95%, mientras que la mezcla B20 lo reduce en 19% (Fukuda *et al*, 2001).

La producción de biodiesel admite una amplia variedad de aceite vegetales, de tal forma que puede encontrarse el cultivo idóneo para el clima específico de la localidad, las posibilidades van desde la jojoba de climas desérticos hasta el aceite de coco y palma de climas tropicales. Los litros de biodiesel que pueden obtenerse por hectárea, a partir de cada uno de los cultivos oleaginosos que comúnmente se cultivan en países en vías de desarrollo se resumen a continuación (Villegas *et al*, 2005):

- Soya (Glicine max): 420 litros
- Arroz (Oriza sativa): 770 litros
- Tung (Leurites fordii): 880 litros
- Girasol (Helianthus annuus): 890 litros
- Mani (Arachis hipogaea): 990 litros
- Colza (Brassica napus): 1100 litros
- **Ricino (Ricinos communis): 1320 litros**
- **Jatropha (Jatropha curcas): 1590 litros**
- Aguacate (Persea americana): 2460 litros
- Coco (Cocos nucifera): 2510 litros

- Cocotero (*Acrocomia aculeata*): 4200 litros
- Palma (*Elaeis guineensis*): 5550 litros

2.2. ANTECEDENTES

2.2.1. TECNOLOGÍA DEL BIODIESEL

Dos son los pasos básicos que llevan a la producción del biodiesel a partir de cultivos oleaginosos, siendo el primero el de la extracción del aceite; el aceite crudo es la materia prima para el proceso siguiente de transformación, la transesterificación. En la Figura 2 se puede apreciar el proceso general para la producción de biodiesel así como la reacción de transesterificación. Los parámetros más importantes a evaluar para determinar la calidad del biodiesel obtenido son: Viscosidad cinemática comparada, densidad, número de cetano, poder calorífico, punto de inflamación, contenido de agua y sedimentos, pruebas de rendimiento y emisiones en motores.

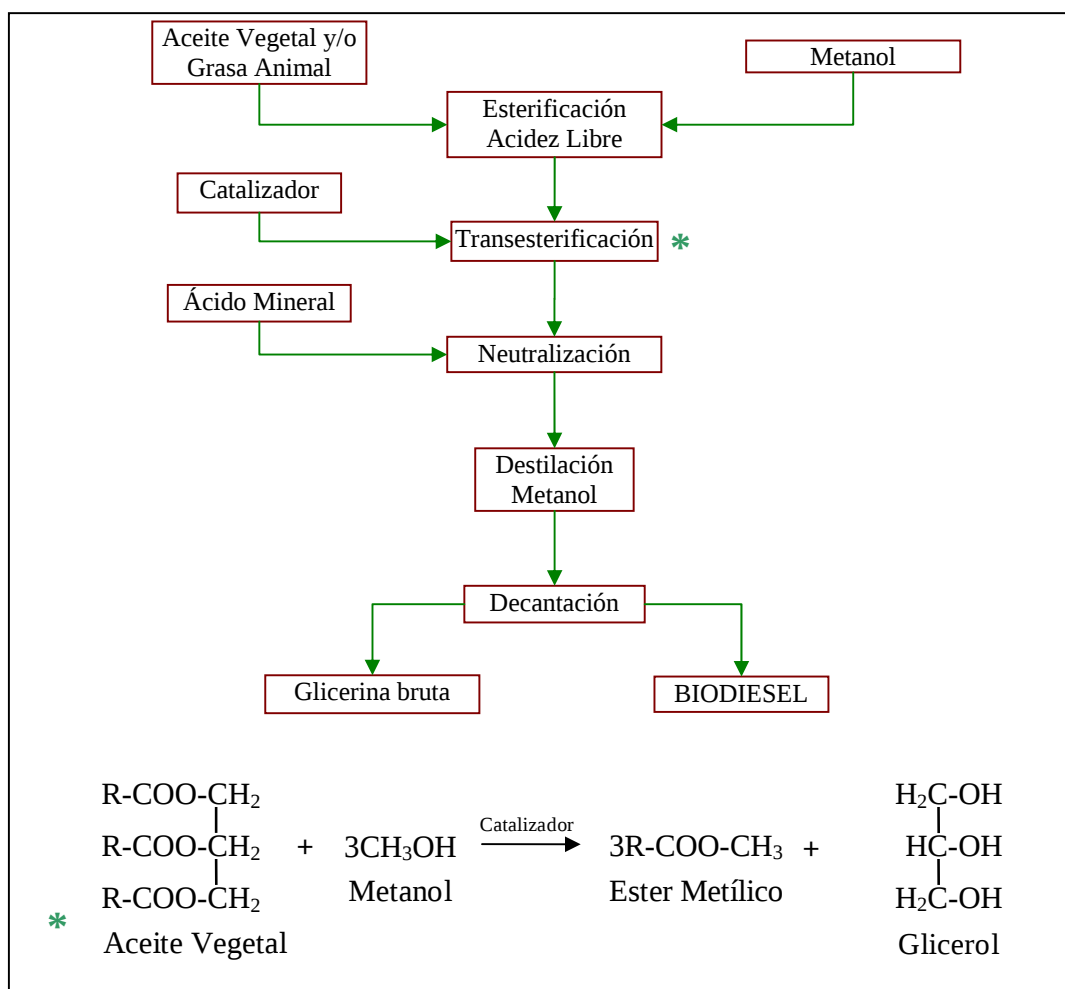


Figura 2. Diagrama general de la producción de biodiesel

2.2.2. COSTOS DE LA PRODUCCIÓN DEL BIODIESEL

El costo del biodiesel depende del lugar donde se siembre (para el caso de plantaciones energéticas), las técnicas agrícolas que se usen, el proceso tecnológico considerado para obtener el bien así como de los procesos intermedios requeridos. Algunas consideraciones económicas a considerar para determinar el precio del biodiesel son (Graboski y McCormick, 1998):

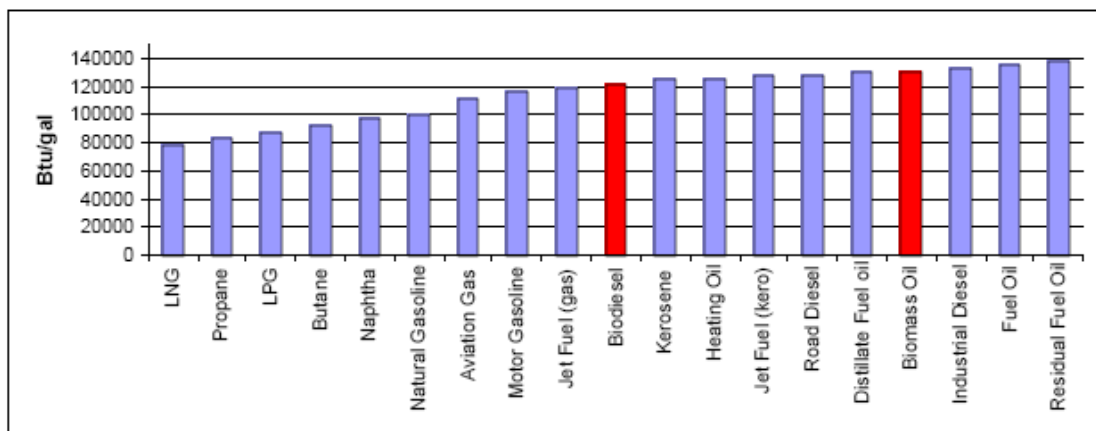
- *Costo de capital:* Mano de obra, Overhead, Alcohol, Sosa Cáustica, Energía
- *Gastos de operación:* Vapor, agua, impuestos locales y seguro, mantenimiento.
- *Interés neto necesario:* I.S.R., Depreciación.
- *Flujo de efectivo*
- *Ingresos debido a la venta de glicerina*
- *Costos del aceite de alimentación*

2.2.3. CONTENIDO DE ENERGÍA

Los aceites derivados de biomasa y sus subproductos químicos, tales como el biodiesel, tienen un excelente contenido de energía. En la Figura 3 se muestran algunos datos al respecto.

Para el caso de los cultivos energéticos como materia prima para obtener biodiesel, es necesario saber cuanta energía se invierte en:

- En el cultivo de la planta
- Extracción y refinación del aceite
- Esterificación del aceite
 - Energía directa (electricidad, vapor)
 - Reactivos de entrada (reactivo, catalizador)
 - Transporte



Fuente: (Tyson et al, 2004)

Figura 3. Contenido de energía de algunos hidrocarburos y de productos biomásicos

Uno de los grandes cuestionamientos acerca de los biocombustibles es su balance de energía neto, particularmente está la cuestión de si el biocombustible producido contiene más energía útil que la del combustible fósil requerido para producirlo. Este argumento ha sido una gran preocupación desde hace una década, sin embargo, los avances en la tecnología han mejorado la eficiencia de producción, dando a los biocombustibles comerciales actuales un balance energético positivo.

Se han hecho diversos estudios para determinar el contenido de energía neto del biodiesel, por ejemplo el ILSR (*Institute for Local Self Reliance*) de Estados Unidos concluyó que el biodiesel producido de soja, presenta un contenido de energía neto positivo, para ello consideró valores promedios nacionales de cultivo y cosecha de soja, refinación y extracción del aceite, y por último, la esterificación, donde la relación neta de entrada/salida fue de hasta 1:2.51. En la Figura 4 del estudio mencionado, se muestran los valores energéticos de entrada y salida de la producción de biodiesel por medio de soja.

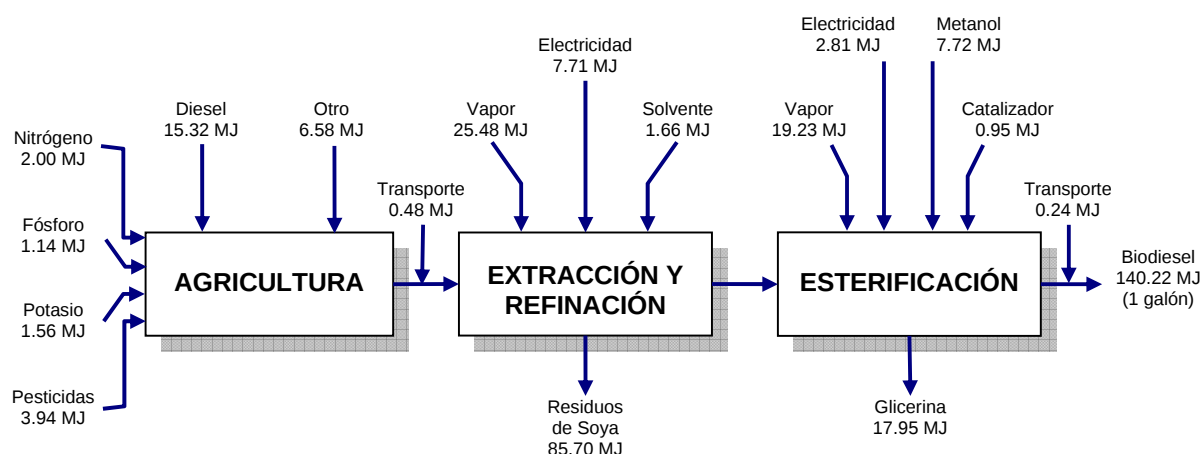


Figura 4. Entradas y salidas de energía por litro de biodiesel (de soja) producido

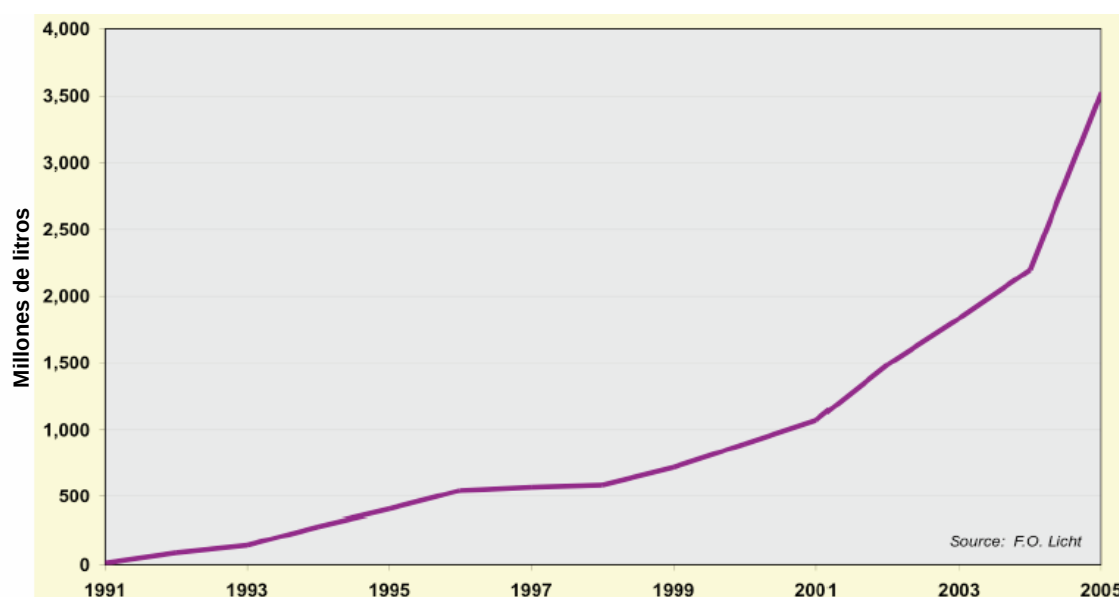
2.2.4. SITUACIÓN MUNDIAL

El biodiesel ha sido investigado desde mediados de la década de los ochentas en muchas naciones en todo el mundo. Hasta 1999 existían 85 plantas en 21 países (Masera *et al*, 2005). En Alemania existen más de mil estaciones de venta de biodiesel, donde se emplea como combustible puro al 100%, como combustible para calefacción o como aditivo para el diesel de petróleo al igual que en Italia.

Alemania ha sido líder en la producción gran escala de biodiesel a partir de canola y semillas de girasol, cosechas comúnmente usadas para producir aceite vegetal para consumo humano (BMELV, GTZ y FNR, 2006). En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se enlistan los principales países productores de este biocombustible y en la Figura 5 se muestra la producción del biodiesel a nivel mundial.

Tabla 2. Principales productores de biodiesel en 2005

País	Producción (Millones de litros)
Alemania	1,920
Francia	511
Estados Unidos	290
Italia	227
Austria	83
Total	3,031



Fuente: (BMELV, GTZ y FNR, 2006)

Figura 5. Producción mundial de biodiesel (1991-2005)

En países como Austria, Francia, Alemania, Italia, Irlanda, Noruega, Suecia, Polonia, Eslovaquia, y la República Checa, y con el objetivo de impulsar el uso de biodiesel, existe desde 1997 una ley de exención de impuestos. En Brasil se ha lanzado un nuevo programa sobre biodiesel donde se pretende utilizar soja o aceite de ricino, el cual está orientado tanto al uso nacional como a la exportación hacia la Unión Europea, aunque los acuerdos comerciales sobre este producto están todavía pendientes. Es interesante notar que en Brasil este nuevo programa tiene un fuerte contenido social, enfocando como prioridad una producción descentralizada y de apoyo al pequeño productor (Masera *et al*, 2005).

En los próximos años, el desarrollo internacional de los biocombustibles tiene el potencial para incrementar la seguridad energética de muchas naciones, para crear oportunidades económicas nuevas para la gente en las áreas rural y de agricultura alrededor del mundo, para proteger y mejorar el ambiente en escalas local, regional y global; y para proveer productos nuevos y mejorados a miles de consumidores (BMELV, GTZ y FNR, 2006).

2.2.5. SITUACIÓN EN MÉXICO

En cuanto a la producción de biodiesel en nuestro país, sólo se pueden contar los casos de una planta con fines comerciales y dos plantas piloto. La primera se ubica en Monterrey, Nuevo León y fue establecida por el Grupo Energéticos con la participación del ITESM Campus Monterrey. Aquí, el biodiesel es elaborado con base en sebo de res, metanol y sosa cáustica (Vela, 2004).



Figura 6. Planta de producción de biodiesel del Grupo Energéticos

Por otro lado, una de las dos plantas piloto se ubica en el Campus Monterrey del ITESM, donde se produce biodiesel a partir de restos de aceite vegetal (Figura 7), ubicada en el Laboratorio de Ingeniería Química, con una capacidad máxima de 5,000 litros por semana.



Figura 7. Experiencia con biodiesel en ITESM Campus Monterrey

El segundo caso se encuentra en la Universidad Vasconcelos, en Oaxaca, donde actualmente el biodiesel está siendo probado en el autobús de la universidad en mezcla al 20 por ciento (Figura 8), sin que se haya presentado algún problema. A partir de 2005 el proyecto está orientado a recolectar la mayor cantidad posible de aceite vegetal y proponer el uso del biodiesel en vehículos de recolección de basura y/o de transporte público de la ciudad de Oaxaca (UNIVAS, 2005).



Figura 8. Experiencia con biodiesel en la Universidad Vasconcelos de Oaxaca.

Como podemos observar, son pocos los grandes esfuerzos que hasta ahora se han hecho en materia de generación de biodiesel. Sin embargo, es importante mencionar que este tipo de proyectos se han acumulado en un tiempo relativamente corto, por lo que podríamos esperar que en pocos años contemos con más casos exitosos. Un ejemplo real es el Estado de Michoacán que se suma a estas acciones que permitirán crecer hacia la utilización de los biocombustibles. En él se han establecido tierras de cultivo de higuierilla y jatropha curcas para producir biodiesel.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La alta dependencia en México hacia los combustibles fósiles tanto económica como energéticamente, hace urgente examinar otras opciones más amigables con el ambiente como los biocombustibles.

Los casos de aplicación real de la producción del biodiesel en México, han generado un crecimiento en la investigación, tecnología y el desarrollo de nuevas metodologías que buscan hacer más eficiente el proceso, además de experimentar con diversos cultivos. Específicamente es necesario encontrar materias primas que se adapten a las condiciones locales del lugar de aplicación. En el caso de México se ha recomendado estudiar las propiedades de la Jatropha y el la higuierilla (BID-SENER-GTZ, 2006) ya que existen varias interrogantes para su producción a gran escala tales como el aprovechamiento energético de los subproductos o el uso alternativo de la pasta obtenida de la extracción de aceite de la semilla. Estas oleaginosas han empezado a cultivarse en el Estado de Michoacán con el objetivo concreto de estudiar su uso como materia prima de biodiesel.

4. JUSTIFICACIÓN

A nivel general México y a nivel particular Michoacán, cuenta con las condiciones ambientales necesarias para obtener una alta productividad de jatropha e higuierilla. Además de que existe una amplia información bibliográfica sobre el cultivo de estas oleaginosas, los cuidados específicos para la producción de ambas semillas no son complicados, de hecho, la higuierilla crece en forma silvestre en muchos estados de la Republica Mexicana incluyendo a Michoacán.

Existe una amplia variedad de productos que pueden representar una muy buena elección como materia prima para la producción de biodiesel, tales como una gran variedad de plantas oleaginosas, el aceite usado de cocina o el sebo de res. La ventaja marcada por las primeras es que quedan representadas en una cadena productiva más amplia en la obtención del biocombustible: obtención de la semilla, cuidados relacionados con el cultivo, extracción del aceite y transesterificación de este último; esto hace que sea posible, con el conocimiento necesario, controlar los precios de los productos obtenidos en cada etapa de la cadena y que se pueda obtener un precio final del biodiesel más adecuado. Además, en términos socioeconómicos, queda implícito el beneficio debido a una mayor generación de empleos: etapa agrícola, extracción de aceite, proceso de obtención de biodiesel.

Debido a sus características mínimas de cuidado y al nivel de avance que se tiene en cuanto a estudios realizados de su cultivo a nivel internacional, se eligieron a la Jatropha curcas y a la higuierilla dentro de la gran variedad de plantas oleaginosas posibles de utilizarse como materia prima para producción de biodiesel.

Aunado a lo anterior, existe el interés en el Estado de Michoacán de apoyar estudios que busquen desarrollar tecnologías y conocimientos relacionados con el biodiesel con el fin de apoyar proyectos de generación de biocombustibles; en este sentido, el Estado ha hecho gestiones para que en breve se pueda adquirir una planta de producción de biodiesel.

5. OBJETIVOS

5.1.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la viabilidad económica y energética de la producción de Jatropha Curcas para la producción de biodiesel en el Estado de Michoacán.

5.1.2. OBJETIVOS PARTICULARES

- Evaluar las propiedades energéticas y de uso tanto de los residuos como de las semillas de jatropha curcas e higuierilla resultantes de la cadena productiva completa de producción de biodiesel.
- Determinar los parámetros específicos de operación para la producción de biodiesel desde la jatropha e higuierilla en el Estado de Michoacán.
- Validar las propiedades de biodiesel obtenido desde la jatropha curcas y la higuierilla.

- Determinar el balance energía en la producción de biodiesel.
- Desarrollar el proceso completo de producción de biodiesel utilizando como materia prima jatropha curcas e higuierilla y derivados.
- Determinar la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la sustitución del diesel convencional por biodiesel derivado de jatropa e higuierilla

6. METODOLOGÍA

Para alcanzar los objetivos propuestos en el presente proyecto se plantean las siguientes etapas:

- 1) Desarrollo de los procesos generales en el cultivo de las semillas de jatropha curcas e higuierilla;
- 2) Evaluación en laboratorio y en planta de los procesos involucrados en la extracción del aceite y en el proceso de transesterificación del mismo;
- 3) Aplicar técnicas analíticas en laboratorio para caracterizar las semillas de jatropha curcas e higuierilla, así como para determinar las propiedades del biodiesel y subproductos obtenidos.
- 4) Llevar a cabo la extracción del aceite desde las semillas de jatropha curcas e higuierilla y evaluar las condiciones mismas del proceso.
- 5) Montar en laboratorio el proceso de transesterificación de los aceites obtenidos para producir biodiesel.
- 6) Realizar experimentos que comparen el funcionamiento en motores-diesel del biodiesel obtenido
- 7) Evaluación de los procesos energéticos aplicados en la cadena productiva completa de producción de biodiesel.
- 8) Determinación de parámetros específicos de producción de biodiesel en el estado de Michoacán;
- 9) Desarrollo de los procesos completos de producción de biodiesel desde la etapa de cultivo hasta la obtención del producto y subproducto

7. CALENDARIZACIÓN

CALENDARIO DE ACTIVIDADES						
ACTIVIDAD	SEMESTRE					
	1	2	3	4	5	6
Revisión de información y bibliografía						
Evaluación en laboratorio y planta						
Publicación de resultados en revistas internac.						
Presentación de resultados en congresos						
Desarrollo de los procesos completos de producción de biodiesel						
Experimentación y validación del biodiesel producto						
Escritura de la tesis						
Publicación de resultados en revistas internacionales.						

8. RESULTADOS ESPERADOS

1. Desarrollo de las características de aplicación de la producción de biodiesel utilizando jatropha curcas e higuierilla como materia prima en el Estado de Michoacán.
2. Documento que integre las propiedades energéticas de las semillas y residuos de la jatropha e higuierilla.
3. Análisis y comparación de eficiencia energética en la obtención de biodiesel desde las cadenas productivas de jatropha e higuierilla.
4. Dos artículos en revistas con arbitraje internacional.
5. Elaboración de un documento que integre los aspectos tanto generales como específicos en la producción de biodiesel en el Estado de Michoacán.

9. RECURSOS DISPONIBLES

- ✓ Equipos de cómputo (PC, impresora, software)
- ✓ Servicios bibliográficos en base de datos del Laboratorio de Bioenergía del CIEco-UNAM y en el Laboratorio de Biotecnología del ITESM Campus Monterrey.
- ✓ Disponibilidad para el uso de Laboratorios en CIEco-UNAM e ITESM ubicados en Morelia Michoacán y Monterrey Nuevo León respectivamente.
- ✓ Recursos económicos para salidas de campo y realización de pruebas provenientes de convenio GTZ-UNAM-Michoacán.

10. BIBLIOGRAFÍA

- BMELV, GTZ y FNR, 2006. *BIOFUELS FOR TRANSPORTATION, global potential and implications for sustainable agriculture and energy in the 21st century*. Extended Summary, Prepared by the Worldwatch Institute for the German Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection (BMELV), in cooperation with the Agency for Technical Cooperation (GTZ) and the Agency of Renewable Resources (FNR) Washington, D.C. June 7; pp 5,6,7
- Carrareto C., Macor A., Mirandola A., Stoppato A., Tonon S., 2004, *Biodiesel as alternative fuel: Experimental analysis and energetic evaluations*. Energy 29, Department of Mechanical Engineering, University of Padova, Via Venezia, 1-35131 Padova, Italy; pp 2200, 2205.
- Coltrain, D., 2002. *Biodiesel: is it worth considering*. En: 2002 Risk and Profit Conference, Manhattan, Kansas.
- Dove Biotech LTD. *Castor Bean (Ricinus Communis) an international botanical answer to biodiesel production & renewable energy*. 327/66-67 St. Louis Center, Sathorn, Bangkok 10120, Thailand. Disponible en WWW.DOVEBIOTECH.COM.
- Dove Biotech LTD. *Jatropha curcas L., An international botanical answer to Biodiesel production & renewable energy*. 327/66-67 St. Louis Center, Sathorn, Bangkok 10120, Thailand. Disponible en WWW.DOVEBIOTECH.COM.
- Fröhlich, A., Rice, B., 1995. *The preparation and properties of biodiesel grade methyl ester from waste cooking oil*. In: Minutes of the activity meeting of the IEA, Vienna, pp. 11–18.
- Fukuda Hideki, Kondo Akihiko y Noda Hideo, 2001. *Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils*, Journal Of Bioscience And Bioengineering. Vol. 92, No. 5; Kobe University, Japan; pp 406.
- Graboski M. S., McCormick R., 1998. *Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines*. Prog. Energy Combust. Sci. Vol. 24, pp 126

- Haas M., McAloon A., Yee W., Foglia t., 2006. *A process model to estimate biodiesel production costs*. Bioresource Technology 97.
- Hedge N. G., Daniel J. N. y Dhar S., 2003. *Jatropha and other perennial oilseed species*. BAIF Development Research Foundation.pp. 11, 77.
- Lazcano, I. 2006. *Desarrollo de un Estudio de Factibilidad para el uso del biodiesel como combustible para el transporte en México*. Task B: Aspectos Agrícolas y Recursos Potenciales para el Propósito. Proyecto BID-GTZ-SENER. México D.F.
- Masera et al, 2005, *La Bioenergía en México, un catalizador del desarrollo sustentable*. Red Mexicana de Bioenergía-CONAFOR. Editado por Mundi-Prensa. México
- Pramanik K., 2002. *Properties and use of jatropha curcas oil and diesel fuel blends in compression ignition engine*. Renewable Energy. Regional Engineering College. P. 241.
- Ribeiro de Amorim Pablo Q., 2005, *Perspectiva Histórica Da Cadeia Da Mamona E A introdução Da Produção De Biodiesel No Semiárido brasileiro Sob O Enfoque Da Teoria Dos Custos Detransação*. Piracicaba. Estado de São Paulo, Brasil.
- Schwab, A.W., Bagby, M.O., Freedman, B., 1987. *Preparation and properties of diesel fuels from vegetables oils*. Fuel 66 (10), 1372–1378.
- Thrän D., Müller F., Weber M., Probst O., 2006. *GTZ-BID feasibility study for the use of biodiesel as a transportation fuel in Mexico*. Task C et seq. Comité Consultivo Nacional.
- Tyson K.S. y McCormick R.L., 2006, *Biodiesel Handling and Use Guidelines*, Segunda Edición; U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy; pp 7.
- Tyson K.S., Bozell J., Wallace R., Petersen E., y Moens L., 2004, *Biomass Oil Analysis: Research Needs and Recommendations*. Technical Report. National Renewable Energy Laboratory. U. S. Department Energy, June.
- Vela, José Angel, 2004, *Crean Biodiesel con Cebo de Res*; Grupo Reforma, 17 de diciembre.
- Villegas A. P., Zanzi V. R., Bucid W. B., Bonnet E., López D. I., Herrera M. I., Viedma P. E., 2005. *Algunas consideraciones preliminares acerca de la factibilidad de la obtención de biodiesel en países en vías de desarrollo*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 9. Argentina.
- Weber M., Probst O., Müller F., Thrän D., Kaltschmitt M., 2006. *Development of a feasibility study for the use of biodiesel as a transportation fuel in Mexico*. Report Task C. Biodiesel production and end-use in México: current and future. Institute for Energy and Environmental gGmbH, ITESM Campus Monterrey.
- Zhang, Y., Dube´, M.A., McLean, D.D., Kates, M., 2003. *Biodiesel production from waste cooking oil. 1: Process design and technological assessment*. Bioresource Technology 89. 1–16.

Producción de Biodiesel: Caracterización de las propiedades de la Jatropha y la Higuera.

Zhang, Y., Dube', M.A., McLean, D.D., Kates, M., 2003b. *Biodiesel production from waste cooking oil. 2:Economic assessment and sensitivity analysis*. Bioresource Technology 90, pp 229.