

CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN PARA EL DESARROLLO DE MÉXICO

Dr. Héctor Nolasco Soria, Director General y Editor

Análisis de factibilidad del proceso de producción de biodiesel a partir de dos aceites no comestibles

La Paz, B.C.S., a 6 de Octubre de 2013



D. Alvarez-Barrera¹, J.G. Segovia-Hernández²,
A.J. Castro-Montoya¹, R. Maya-Yescas¹,
J. Lara-Romero¹ y M.C. Chávez-Parga^{1*}.

¹Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

²Universidad de Guanajuato.

carmen_pchavez@yahoo.com

Resumen

La evaluación de la factibilidad técnico-económica de la producción de biodiesel por medio de aceites no comestibles tales como los obtenidos de las semillas de *Jatropha curcas* o higuierilla ha sido evaluada en el presente trabajo de investigación, utilizando el simulador Super Pro Designer 7.5® con el fin de analizar el diseño y mantenimiento de una planta productora de biodiesel, considerando la relación de energía producida contra consumida y los costos de producción de este proceso. Los resultados obtenidos de las simulaciones muestran que la producción de biodiesel es mejorada con el uso de aceite de *Jatropha curcas* en un medio catalítico básico con hidróxido de potasio y con recirculación de catalizador después de su separación, con ventajas técnicas y económicas en comparación con otras alternativas de producción.

Palabras clave: transesterificación, SuperPro Designer®, evaluación técnico-económica, biodiesel, simulación.

Abstract

The evaluation of the technical and economic feasibility of biodiesel production using inedible oils such as those obtained from the seeds of *Jatropha curcas* or castor has been evaluated in the present investigation, using the simulator Super Pro Designer 7.5®, to analyze the design and maintenance of a biodiesel production plant considering the ratio of energy produced against consumed and the production costs of this process. The results of the simulations show that the production of biodiesel is improved with the use of *Jatropha* oil in an alkaline catalytic medium, with potassium hydroxide, and catalyst recirculation after separation, with technical and economic advantages compared to other production alternatives.

Key words: transesterification, SuperPro Designer®, technical and economic evaluation, biodiesel, simulation.

Área temática: Área 7: Ingenierías.

Problemática

La problemática se refiere al suelo cultivable no aprovechado en México, aunado a los problemas ocasionados por el daño ambiental y el progresivo agotamiento de las fuentes de petróleo que demandan, a la brevedad posible, el incremento de alternativas energéticas que permitan continuar con las actividades cotidianas de la sociedad de manera sustentable y económica.

Estado	Potencial productivo de <i>Jatropha</i> e Higuierilla y su contribución a la superficie total		Potencial productivo de los estados de México para el cultivo de <i>Jatropha</i> e Higuierilla y su contribución a la superficie total	
	<i>Jatropha</i>	Higuierilla	<i>Jatropha</i>	Higuierilla
Aguascalientes				2.062
Baja California norte	9154.5		0.378	0
Baja California sur		626.8		0.006
Campeche	17148.7	146838.2	0.709	1.427
Chiapas	182411.3	332797.3	7.538	3.235
Chihuahua	11531	244083.6	0.476	2.373
Coahuila	41185.6	236542.7	1.702	2.299
Colima	31522.2	114112	1.303	1.109
Distrito Federal		8357.6		0.081
Durango	12526.3	583072.2	0.518	5.668
Guanajuato		545168.5		5.299
Guerrero	322091.7	419874	13.31	4.081
Hidalgo	2480.3	170600.4	0.102	1.658
Jalisco	121584.1	1058435	5.024	10.29
México	9080.5	131454.1	0.375	1.278
Michoacan	94440.4	446852	3.903	4.344
Morelos	52364.5	82574.6	2.164	0.803
Nayarit	77428	350096.2	3.2	3.403
Nuevo Leon	106012.4	472241.9	4.381	4.59
Oaxaca	181634.6	370588.5	7.506	3.602
Puebla	37746.2	337394.7	1.56	3.28
Queretaro	1554.4	116161.8	0.064	1.129
Quintana Roo	134.3	45843.9	0.006	0.446
San Luis Potosí	7475.1	348137.7	3.089	3.384
Sinaloa	293246.6	705356.3	12.12	6.856
Sonora	47808.8	240519.8	1.976	2.338
Tamaulipas	311148	911372.2	12.86	8.859
Tlaxcala		33348.4		0.324
Veracruz	377491.1	440315.8	15.6	4.28
Yucatan	2309	231115.8	0.095	2.247
Zacatecas	1201.8	951673.5	0.05	9.251

Usuarios

Las dependencias federales como la Secretaría de Energía (SENER), la Secretaría de Economía (SE), la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), las personas dedicadas a las actividades agrícolas y/o que utilicen maquinaria pesada, que puedan disminuir el costo de combustible con la transformación de aceites, no comestibles y tóxicos, en biodiesel.

Proyecto

Los biocombustibles representan en la actualidad una alternativa energética amigable con el ambiente, dada su naturaleza renovable, reduciendo así la degradación ambiental (Gerpen y Shresta, 2005). Entre estas alternativas energéticas se encuentra el biodiesel, el cual es un biocombustible sintético en estado líquido obtenido a partir de lípidos naturales, como aceites vegetales o grasas naturales, a través de procesos industriales de esterificación y transesterificación y ha sido utilizado como sustituto parcial o total del diésel obtenido del petróleo (Fukuda y Kondo 2001). El objetivo del presente trabajo fue evaluar técnica y económicamente la producción de biodiesel a partir de aceites vegetales de *Jatropha curcas* o de higuierilla. Se considera que la oferta y demanda de combustibles en México abre la posibilidad de que los aceites obtenidos de las citadas especies puedan ser utilizadas como una fuente energética, técnica y económicamente atractiva. En 2010, la producción de aceite vegetal en México fue de 9.38x10⁶ kg provenientes principalmente de soya (39%), colza (57%), cártamo (2.5%), ajonjolí (1%) y girasol (0.5%); sin embargo, los aceites antes mencionados no tienen disponibilidad para la producción de biodiesel, excepto en casos de producción excesiva de ellos y baja demanda para uso alimenticio (ANAIME 2013).

Los procesos estudiados fueron simulados para ambas materias primas considerando un proceso continuo, en un medio catalítico básico para la reacción de transesterificación (utilizando hidróxido de potasio como catalizador) y para una capacidad de producción de 4605 l/h, tomando este dato como promedio de producción anual de varias plantas ya establecidas en Europa (EBB 2011). El proceso es dividido en varias etapas que incluyen la extracción mecánica de aceite, transesterificación, purificación de la fase ligera y purificación de la fase pesada. Las reacciones se llevaron a cabo con diferentes concentraciones molares de metanol/aceite (8/1 para la *Jatropha* y 29/1 para la higuierilla), así como una relación de NaOH al 1% (p/p). Este catalizador fue elegido debido a su alto rendimiento, tiempo corto de reacción y baja temperatura para ambas materias primas (aceite de *Jatropha* y aceite de higuierilla) como ha sido demostrado por Meneghetti y col. (2006a) y Bechmans y col. (2008).

La factibilidad de instalación del proceso fue evaluada mediante el balance energético del reporte de servicios de Super Pro Designer® obtenido de cada simulación después de realizar los pertinentes análisis de varianzas, donde se aseguró que la cantidad de energía producida excediera el flujo de energía consumida. El método propuesto por Guthrie (1969) y retomado por Jiménez (2003), fue utilizado para determinar las variables económicas específicas tales como tasa de retorno (ROI), costo unitario de producto (PUC) y tiempo de recuperación de capital (PT). Dichas variables permiten un acercamiento a la inversión inicial

del proceso de producción de biodiesel para cada una de las materias primas consideradas en este estudio y se definen como ROI = (Utilidad Neta/ Inversión Total de Capital); PT= (1/ROI); PUC= (Ingresos Totales - Costos de Subproductos)/Flujo de Producto Principal.

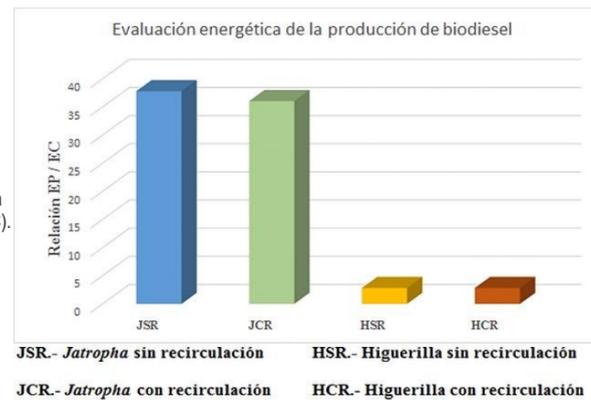


Figura 1. Balance energético de los procesos de producción de biodiesel a partir de aceites de *Jatropha curcas* y aceite de higuierilla. El eje de las ordenadas indica la relación de energía producida (EP)/energía consumida (EC). En el eje de las abscisas están los tratamientos con y sin recirculación del catalizador (NaOH).

Para obtener el balance energético, una vez simulados los casos de estudio, los rendimientos energéticos y su relación con la energía consumida durante la transformación de estas semillas fueron analizados tomando en cuenta la capacidad de combustión del biodiesel (38,900 KJ/Kg), el cual es un promedio entre los límites superior e inferior reportados en la literatura para diferentes materias primas (Meneghetti et al 2006b) y el biodiesel producido, que es una función de las materias primas. Estos valores fueron comparados con la finalidad de evitar relaciones de energía producida contra consumida menores a 1.

Una vez realizadas las simulaciones, los reportes energéticos de Super Pro Designer 7.5® mostraron un notable cambio en las relaciones de energía producida contra energía consumida al pasar de una materia prima a otra, mientras que la diferencia entre procesos al trabajar con diferentes destinos para el catalizador (con y sin recirculación) fue menor. El comparativo de las cuatro alternativas de producción puede verse en la figura 1.

Como se puede observar, existe una diferencia significativa entre los procesos utilizando las materias primas analizadas. Esta diferencia puede explicarse con el análisis de las operaciones unitarias propuestas y las relaciones de metanol utilizadas en la reacción, dado que el mayor consumo energético del proceso lo tienen las operaciones de destilación para separación del metanol no reaccionante. En el caso de la higuierilla, la relación molar de metanol/aceite usada es aproximadamente 3 veces mayor que la utilizada con la *Jatropha*, por lo que la cantidad de energía requerida para su separación incrementa las relaciones mostradas en la figura 1. Dicha relación molar de alcohol puede disminuir dependiendo de las propiedades fisicoquímicas del aceite examinado (Frolich y Rice 2005).

Por su parte, los resultados del estudio económico, obtenidos a partir del reporte económico de Super Pro Designer 7.5®, incluyen la comparación de la tasa de retorno, tiempo de recuperación de capital y costo unitario de producto (Figura 2). Los resultados indican un claro decremento en las variables económicas al cambiar la materia prima, que se alimenta al proceso. Dicha baja puede ser atribuida principalmente a la cantidad de alcohol utilizada para ambas materias primas, el precio de cada una de ellas y el volumen de los equipos necesario para la purificación de las fases que salen del reactor. A pesar de estas diferencias, dicho proceso sigue siendo económicamente más viable que el estudiado para otras materias primas (Apostolakou et al 2009).

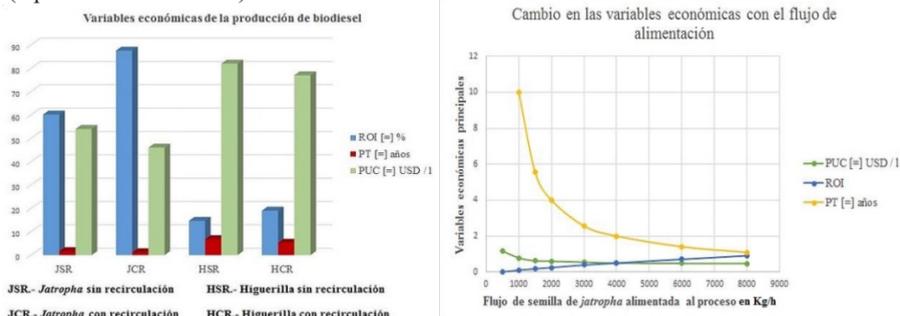


Figura 2. Análisis económico de la producción de biodiesel obtenido a través de la simulación de los procesos a partir de semillas de *Jatropha curcas* y aceite de higuierilla. ROI= (%). SP = (centavos de dólar/1). PT = (años). JCR y JSR proceso de aceite de *Jatropha curcas* con recirculación de catalizador y sin recirculación de catalizador, respectivamente. HCR y HSR proceso de aceite de higuierilla con recirculación de catalizador y sin recirculación de catalizador, respectivamente (izq). Flujo de alimentación de materia prima en Kg/h, en el proceso de producción de biodiesel a partir de semillas de *Jatropha curcas* y su relación con las variables económicas. ROI= (%). SP = (centavos de dólar/1). PT = (años) (der).

El impacto del escalamiento del flujo de semilla alimentado al proceso en las variables económicas principales es mostrado en la figura 2 (der). Con la finalidad de reducir los costos de producción de biodiesel, una primera etapa de pretratamiento (refinación de aceite) puede ser realizada con catálisis heterogénea (Xiaolin et al 2003), aunque Zhang y col. (2006) sostienen que este pretratamiento representa un incremento en los costos de producción.

En conclusión, es posible producir biodiesel a través de la transesterificación de aceites de *Jatropha curcas* e higuierilla y que dichos procesos son energética y económicamente favorables. El uso de Super Pro Designer 7.5® permitió un análisis integral del proceso de producción de biodiesel considerando factores contables e impuestos, mano de obra, servicios y costos de instalación y mantenimiento de los equipos. Estas simulaciones muestran también que la instalación de un sistema de producción de biodiesel en los estados más áridos de México utilizando *Jatropha curcas* como materia prima es económicamente viable para capacidades de alimentación a partir de 2 toneladas de semilla por hora y que los costos obtenidos pueden equipararse al costo actual de diésel.

Impacto socioeconómico

Según datos presentados por la Secretaría de Energía (SENER, 2012), el consumo energético total de México es de aproximadamente 3,547.33 petajoules por año, de los cuales 102.65 pertenecen al bagazo de caña, 247.22 a la leña, 431.63 al gas LP, 1246.5 a las gasolinas y nafta, 145.36 al queroseno, 619.72 al diésel, 143.33 al combustóleo y 611.13 a electricidad. Si toda esta energía producida por el gasóleo fuera sustituida con la energía producida del biodiesel de *Jatropha curcas*, la producción anual de este biocombustible requeriría del procesamiento de 2,973.39 toneladas de esta semilla por hora. Esto indica que el área necesaria de cultivo de esta planta que satisfaga la demanda total anual de diésel en México es de 47,098.61 km² incrementando así la superficie cultivada desde un 16% hasta un 18.62% generando con ello fuentes de empleo y mayor aprovechamiento de los recursos naturales. Desafortunadamente, la superficie sembrada reportada actual de *Jatropha* en México asciende a un total de 2850 Ha divididas principalmente en los estados de Quintana Roo (400 Ha) y Yucatán (2450 Ha) (SIAP, 2012). Sin embargo, las condiciones climáticas y ubicación geográfica de este país permiten que el potencial productivo de ambas materias primas alcance un valor total de 12,707,673 Ha distribuidas en los diferentes estados mostrados en la tabla 1 (Bioenergetics, 2012).

Contacto: <http://pcti.mx>, hnolasco2008@hotmail.com