

OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE DE JATROPHA CURCAS L POR TRANSESTERIFICACION ETANOLICA

Ana María Castillo Ospina^{*}, Jorge A. Velásquez J.^{*†}, Paola A. Cuartas Z.^{*}

^{*}Universidad Pontificia Bolivariana, Cir. 1 #70-01, of. 11-04, Medellín, Colombia.

Recibido 02 Diciembre 2010; aceptado 12 Junio 2011
Disponible en línea: 27 Junio 2011

Resumen: La producción del biodiesel a partir del aceite de Jatropha, se realiza por transesterificación con etanol (alcoholólisis) en presencia NaOH.

El trabajo consiste en establecer las condiciones óptimas para realizar la transesterificación etanólica del aceite de Jatropha curcas L. Se estudia la dependencia de la conversión del aceite de Jatropha con las variables de reacción como la cantidad de catalizador, relación molar etanol/aceite, temperatura de reacción, velocidad de agitación y tiempo de reacción. La conversión fue del 100% bajo las condiciones de 75°C, relación molar etanol/aceite de 12:1, tiempo de reacción 6 hr, velocidad de agitación 500 rpm y cantidad de catalizador 0.5 % (w). *Copyright © 2011 UPB.*

Palabras clave: Biodiesel, Jatropha curcas L, Transesterificación, Etanolisis.

Abstract: The production of biodiesel from Jatropha oil, is performed by Transesterification using ethanol in the presence of a catalyst such as NaOH.

This project subject is to establish the optimum conditions to make ethanol transesterification from Jatropha oil curcas L. where the content of fatty acids and physico-chemical properties of oil are characterized. The dependence of Jatropha oil with variables reaction as the quantity of catalyst, molar ratio ethanol/oil, reaction temperature, agitation speed and reaction time are studied. The conversion was 100% under the conditions of 75°C, molar ratio 12:1 oil/ethanol, reaction time 6 hr, speed agitation 500 rpm and amount of catalyst 0.5% (w).

Keywords: Biodiesel, Jatropha curcas L, Transesterification, Ethanólisis.

[†] Autor al que se dirige la correspondencia:
Tel. (+574) 4488388
E-mail: jorge.velasquezj@upb.edu.co (Jorge Velásquez).

1. INTRODUCCIÓN

El petróleo en términos de energía representa la mayor contribución en el suministro de energía mundial con un 40%. Sin embargo, la conjunción de una serie de factores tales como: el incremento del precio del barril de petróleo, su demanda por países industrializados, el descenso en la producción global de crudo, las regulaciones energéticas sobre el uso obligatorio de biocombustibles y la necesidad de controlar las emisiones de gases de efecto invernadero han contribuido a la búsqueda de nuevas fuentes de energías alternativas, sustentables y de naturaleza renovable (Pérez, 2006).

El biodiesel presenta beneficios al ambiente respecto de los combustibles convencionales. En general, las emisiones del diesel son reducidas al usar biodiesel o mezclas de éste con el diesel de petróleo. También puede generar un menor impacto en ambientes marinos, en el caso de derrames accidentales, dado que no contiene compuestos aromáticos tóxicos solubles en agua; adicionalmente, la tasa de degradación del biodiesel es cuatro veces mayor que la del diesel. Por último el biodiesel no contiene compuestos aromáticos carcinogénicos (benceno, tolueno, xileno), lo que significa un menor impacto sobre la salud de la población y el ambiente a causa de los gases de escape provenientes de su combustión (Pérez, 2006; Harding et al, 2007).

Como un combustible alternativo, el biodiesel debe competir económicamente con el diesel de petróleo. A nivel mundial la expansión del consumo de este combustible se ha visto limitada por su elevado costo respecto del gas oil, lo que ha determinado que su desarrollo haya estado asociado a la existencia de apoyos o subsidios ya que no resulta competitivo en condiciones de Mercado (Royon et al 2004). Una forma de reducir los costos de producción del biodiesel es emplear materia prima menos costosa, tales como aceites no comestibles, grasas animales, aceites usados y subproductos de la refinación de aceites vegetales, ya que esta materia prima representa el 75% del costo de producción del biodiesel (Berchmans y Hirata, 2008; Royon et al 2004; Openshaw, 2000).

Los aceites vegetales no comestibles producidos principalmente por los árboles y arbustos con semillas pueden proporcionar una alternativa económica; actualmente se ha prestado atención a la planta de *Jatropha curcas* L un arbusto que proporciona aceite con alto contenido de ácidos grasos que puede ser convertido mediante el proceso de transesterificación en Biodiesel cumpliendo los estándares de calidad Europeos y Americanos exigidos para los combustibles de origen biológico (Sarin, et al, 2006)

El propósito del trabajo es estudiar la producción de biodiesel por transesterificación del aceite de *Jatropha curcas* L con etanol, usando NaOH como catalizador.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materiales

Aceite de *Jatropha Curcas* L: El aceite de *Jatropha curcas* L fue comprado a la empresa Colombiana de BIOCOMBUSTIBLES S.A ubicada en Santa Fe de Antioquia-Medellín (Colombia).

Reactivos: Los reactivos usados para la reacción de transesterificación y cuantificación de la glicerina son brindados por la Escuela de Ingenierías de la Universidad Pontificia Bolivariana- Medellín (Colombia)

2.2. Métodos

2.2.1. Caracterización del aceite de *Jatropha Curcas* L

La caracterización de los ácidos grasos que se encuentran en el aceite de *Jatropha curcas* L es cuantificado según el método "Determinación del tipo de aceite en resinas alquídicas por cromatografía de gases y detector de masas" basada en las normas ASTM D 1986, 2245, 1398, 563, 2800, 1306.

2.2.1.1. Caracterización de las propiedades físicoquímicas del aceite de *Jatropha curcas* L.

El aceite es caracterizado según métodos basados en las normas ASTM determinando las siguientes propiedades físicoquímicas:

Viscosidad cinemática: Según método "Medida de la viscosidad Brookfield para líquidos" basada en la norma ASTM D 4878.

Densidad: Una medida indirecta de la densidad es la gravedad específica. Según método “Determinación de la gravedad específica” basada en la norma ASTM D 891-95.

Índice de yodo: Según método “Determinación del índice de yodo (Método largo)” basada en la norma ASTM 1956-69 (Reaprobada en 1989).

Índice de acidez: Según método “Numero ácido (Valor acido)” basada en las normas ASTM D 803-93, 856-91, 465-92.

Índice de saponificación: Según método “Determinación del índice de saponificación” basada en la norma ASTM D 1962- 95.

Material insaponificable: Según método “Materia Insaponificable” basada en la norma ASTM D 1965-67 (Reaprobada en 1991).

2.2.2 Pre tratamiento primer paso en la producción de biodiesel

Si el aceite tiene un valor acido inicial aproximadamente de 28 ± 1 mg KOH g⁻¹ que corresponde a un nivel de FFA de 14 ± 0.5 %, el cual es un valor alejado del límite del 1 % que es el satisfactorio para la transesterificación usando catálisis alcalina los FFA deben ser convertidos primero a esteres en un proceso de pre tratamiento con etanol (41ml) usando NaOH como catalizador (0.5 %), 50 g de aceite con un tiempo de reacción de 88 min a una temperatura de 75°C. Después de la reacción, se le permite a la mezcla sedimentarse durante 1 hora con el etanol, la fracción superior que contiene agua es separada con un embudo. A el producto inferior se le determina el valor acido según un método basado en las normas ASTM D 803-93, 856-91, 465-92 mencionada en el ítem 5.2. Si el producto tiene un valor acido menor de 2 ± 0.25 mg KOH g⁻¹ es usado en la reacción de transesterificación (Tiwari & Raheman, 2007).

2.2.3. Transesterificación: segundo paso para la producción de biodiesel

La reacción general de transesterificación está dada por:



Como se muestra en la [Figura 1](#) a un matraz de 3 cuellos de 500 ml con un condensador de agua refrigerante se le adiciona por la parte superior aproximadamente 50 gr de aceite, con diferentes volúmenes de etanol y cantidades variables de catalizador (NaOH). Cada mezcla es agitada vigorosamente y re circulada hasta el tiempo de reacción requerido. Después de varias horas, la mezcla reaccionante se enfría y se separa por filtración. Se espera un tiempo determinado hasta que el filtrado se separe en dos fases en un embudo de separación. La fase aceitosa superior consiste en esteres etílicos y triglicéridos sin reaccionar (Biodiesel), mientras que la fase acuosa inferior contiene principalmente etanol y glicerol. El etanol residual es separado de la fase liquida por calentamiento.

La experimentación es llevada a cabo cambiando diferentes parámetros como relación molar (Etanol/Aceite), tiempo de reacción, cantidad de catalizador, temperatura de reacción y velocidad de agitación.

A partir de la reacción (1) conociendo los gramos de aceite adicionado y los pesos moleculares de cada uno de los compuestos se hallan los gramos teóricos de glicerol. Se calculan los gramos de glicerol producidos en cada uno de los experimentos por medio del método de la oxidación con peryodato y a continuación se prosigue ha hallar la conversión del triglicérido (Vyas, Amish., et al, 2008).

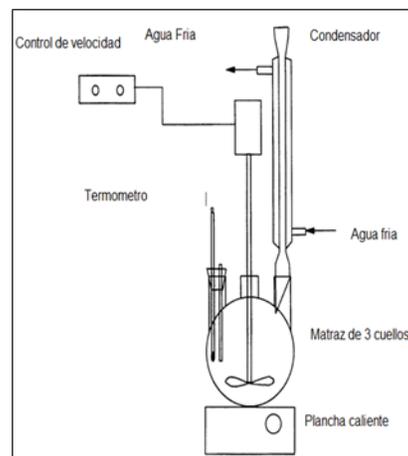


Figura 1. Montaje del matraz de tres cuellos para realizar la reacción de transesterificación.

2.2.4. Lavado del biodiesel

El Biodiesel obtenido es lavado para remover por etapas el glicerol, catalizador, material saponificado y exceso de etanol. Se adiciona agua al biodiesel en un embudo de separación (usualmente un cuarto o la mitad de la cantidad de Biodiesel) se agita manualmente y se deja reposar. El agua se asienta en el fondo del embudo de separación y el Biodiesel formado se observa en la fase superior que posteriormente es almacenado para su debido tratamiento (A.Murugesan, et al., 2008).

Se realiza el lavado de tres a cuatro veces con un intervalo de tiempo de media hora entre cada lavado. Después de que el agua se asienta es removida por medio del drenaje del embudo de separación y es reemplazada con agua fresca. Para el lavado de Biodiesel siempre se emplea agua destilada para desechar la contaminación del combustible.

2.2.5. Secado del biodiesel

El secado es determinado por el calor del lavado del combustible aproximadamente a 110°C en un recipiente abierto hasta que ya no haya más vapor del combustible. Luego es llevado a temperatura ambiente, el Biodiesel puro es colectado y almacenado en un embudo de separación (A.Murugesan, et al., 2008).

RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Caracterización del aceite de *Jatropha Curcas L*

En la [Tabla 1](#) se presenta la comparación experimental y teórica del perfil de ácidos grasos del aceite de *Jatropha Curcas L*. Se observa que la composición de ácidos grasos presentes en el aceite analizado se encuentra dentro de los rangos teóricos especificados por Berchmans & Hirata.

Tabla 1. Perfil ácidos grasos del aceite de *Jatropha Curcas L*.

| No. Pico | % Total | Acido Graso | Rango Teórico |
|----------|---------|-------------|---------------|
| 1 | 15.47% | Palmítico | 14.1-15.3 |
| 3 | 7.37% | Esteárico | 3.7-9.8 |
| 4 | 42.23% | Oleico | 34.3-45.8 |
| 5 | 34.38% | Linoleico | 29.0-44.2 |
| 6 | 0.56% | Linolenico | 0-0.3 |

3.1.1. Caracterización de las propiedades fisicoquímicas del aceite de *Jatropha curcas L*.

A partir de las experimentaciones realizadas para determinar las propiedades fisicoquímicas del aceite de *Jatropha curcas L* se observa que los valores obtenidos se encuentran dentro de los rangos teóricos especificados por Achten, et al. A continuación en la [Tabla 2](#), se observan la comparación de los datos teóricos con los experimentales.

Tabla 2. Características fisicoquímicas del aceite de *Jatropha Curcas L*.

| Propiedad | Rango Teórico | Me dia | Valor experimental (25 °C) |
|---|---------------|-----------|----------------------------|
| Viscosidad Cinemática 40°C (mm ² /s) | 0.860-0.933 | 15 0.9 | 10.9459 |
| Gravedad específica | | 14 | 0.9163 |
| Índice de yodo (mg I ₂ /g) | 92-112 | 101 | 100.1855 |
| Índice de acidez (mgKOH/g) | 0.92-6.16 | 3.7 1 | 2.0741 |
| Índice de saponificación | 102.9-209.0 | 182 .8 | 186.1041 |
| Materia Insaponificable (%) | 0.79-3.8 | 2.0 3 | 2.1657 |

3.2. Transesterificación: segundo paso para la producción de biodiesel

La reacción de transesterificación en la cual el triglicérido es convertido paso a paso en di glicérido, mono glicérido y finalmente en glicerol es llevada a cabo cambiando diferentes parámetros establecidos (Tapanes, et al, 2008) En la [Figura 2](#) se muestra el montaje experimental realizado en el laboratorio.



Figura 2. Montaje del matraz de tres cuellos para realizar la reacción de transesterificación.

A continuación se muestran la influencia de cada uno de estos parámetros en la conversión del triglicérido.

3.2.1. Relación molar Etanol / Aceite: Estequiométricamente, la etanolisis del aceite de *Jatropha Curcas L* requiere tres moles de etanol por cada mol de aceite. Debido a que la reacción de transesterificación es una reacción reversible, el exceso de etanol desplaza el equilibrio hacia la dirección de la formación del éster; además, la formación de la base de la glicerina, inmiscible con los ésteres etílicos, juega un papel importante en el desplazamiento de la reacción hacia la derecha, alcanzándose conversiones cercanas al 100%.

Como se evidencia en la [Figura 3](#), al aumentar la cantidad de etanol la conversión aumenta considerablemente. La conversión máxima se obtiene cuando la relación molar es 12:1; estos datos son comparables con los resultados obtenidos por [Amish, et al. \(2008\)](#) en donde para el mismo aceite se emplea metanol y un catalizador sólido obteniendo la máxima conversión del 82% con una relación molar de 12:1, al igual que para el aceite de *Cynara* estudiado por [Gonzales, et al \(2006\)](#) empleando etanol.

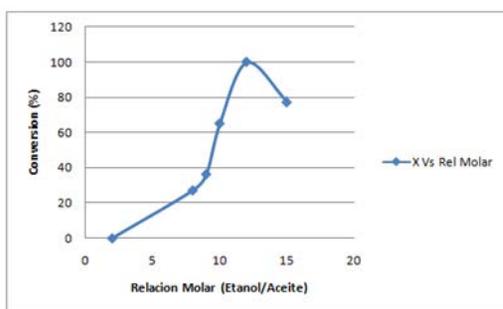


Figura 3. Influencia de la relación molar en la conversión. Condiciones de la reacción: Aceite de *Jatropha* 50 g, cantidad de catalizador 0.5%, tiempo de reacción 6 hr, temperatura de reacción 75 °C, velocidad de agitación 500 rpm.

3.2.2. Cantidad de catalizador: En la reacción de transesterificación se utiliza un catalizador para mejorar la velocidad de reacción y el rendimiento final; El catalizador usado en esta experimentación es el NaOH el cual es un catalizador alcalino que según [Meher, et al \(2004\)](#) es más efectivo.

En la [Figura 4](#) se observa que con una cantidad de catalizador de 0.5% se obtiene la máxima conversión; estudios realizados por [Achten, et al \(2008\)](#), demuestran que para la transesterificación del aceite de *Jatropha* realizando pre tratamiento con metanol la cantidad óptima de NaOH es 1%.

Para cantidades de catalizador menores de 0.2% la reacción resulta incompleta y al aumentar la conversión desde 1 hasta 1.5%, esta comienza a disminuir lo cual es un efecto posible por la mezcla de los reactantes, productos y el catalizador obteniendo posiblemente una saponificación como lo muestran estudios realizados por [Sharma & Singh \(2008\)](#). Es por esto que la cantidad de catalizador es un parámetro importante en las reacciones de transesterificación que varía según la naturaleza del aceite para neutralizar así los ácidos grasos y las reacciones con triglicéridos que producen jabón.

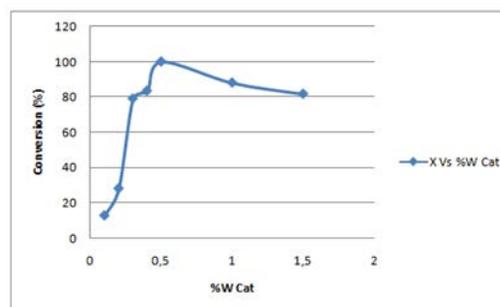


Figura 4. Influencia de la cantidad de catalizador en la conversión. Condiciones de la reacción: Aceite de *Jatropha* 50 g, tiempo de reacción 6 hr, temperatura de reacción 75 °C, relación molar 12:1, velocidad de agitación 500 rpm.

3.2.3. Tiempo de reacción: El tiempo de reacción es un factor clave para determinar el rendimiento de los metil ésteres. En la [Figura 5](#) se presenta el efecto del tiempo en la conversión. La reacción es lenta durante los primeros minutos debido a la mezcla y dispersión del etanol en el aceite de *Jatropha*; la conversión incrementa con el tiempo de reacción entre los rangos de 1 a 3 horas; después se mantiene cercanamente constante obteniendo una conversión de equilibrio que es encontrada a las 6 horas; este resultado es comparable con estudios realizados por [Amish, et al \(2008\)](#), en donde para el mismo aceite se emplea metanol y un catalizador sólido se obtiene la máxima conversión de 87% en el mismo tiempo de reacción.

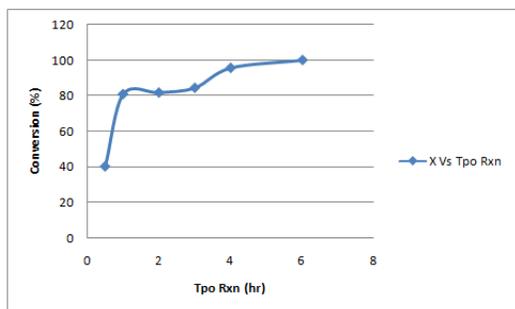


Figura 5. Influencia del tiempo de reacción en la conversión. Condiciones de la reacción: Aceite de *Jatropha* 50 g, tiempo de reacción 6 hr, temperatura de reacción 75 °C, relación molar 12:1, velocidad de agitación 500 rpm, cantidad de catalizador 0.5%

3.2.4. Intensidad de agitación: La agitación es importante en las reacciones de transesterificación debido a que los aceites o grasas son inmiscibles en soluciones de etanol-NaOH. En la [Figura 6](#) se observa que a baja velocidad de agitación solo se alcanza una conversión del 52%, mientras que a 500 rpm se observa la máxima conversión en las mismas condiciones. Estudios realizados por [Amish, et al \(2008\)](#) en donde para el mismo aceite se emplea metanol y un catalizador sólido se obtiene la máxima conversión de 84% con una velocidad de agitación de 600 rpm.

Estos resultados demuestran que una agitación eficiente de los reactivos es esencial para obtener altas conversiones del aceite.

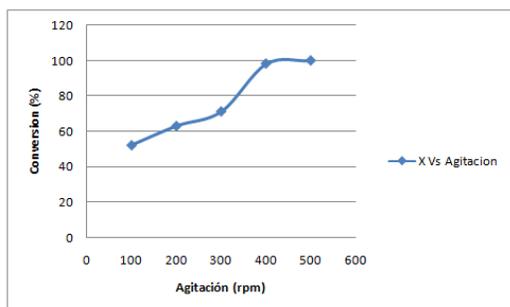


Figura 6. Influencia de la intensidad de agitación en la conversión. Condiciones de la reacción: Aceite de *Jatropha* 50 g, tiempo de reacción 6 hr, temperatura de reacción 75 °C, relación molar 12:1, cantidad de catalizador 0.5%

3.3. Lavado del biodiesel

[Murugesan et al \(2008\)](#), reportan, que después de haber completado la reacción se le permite reposar a la mezcla durante un cierto intervalo de tiempo para lograr la separación del Biodiesel y la glicerina. En la experimentación se observó que después de dejar reposar la mezcla un tiempo determinado no se observaron las fases claramente, así que se optó por hacer un lavado con agua y ácido acético para diferenciar las capas como se muestra en la [Figura 7](#) en donde la fase superior es la fase biodiesel menos densa, y la inferior la fase glicerol más densa.



Figura 7. Separación del Biodiesel y la glicerina

La mezcla de NaOH y etanol se asienta en el fondo del embudo debido a su mayor densidad al compararla con el Biodiesel. La capa superior se recoge para remover las pequeñas trazas que hayan quedado de catalizador, jabón, glicerol y exceso de etanol debido a que este último corroe el sistema de inyección y por lo tanto debe ser separado del Biodiesel. Se realizan tres lavados con agua destilada con un intervalo de media hora cada uno, el agua clara asentada en el fondo del embudo se separa y el Biodiesel formado en la fase superior se muestra en la [Figura 8](#).



Figura 8. Biodiesel puro en la fase superior y agua clara en el fondo

3.4. Secado del biodiesel

Se procede a secar el Biodiesel en un recipiente abierto a 110 °C hasta que no se observe más vapor del combustible, el cual debe ser claro, de color ámbar. Este proceso de calentamiento también remueve trazas de alcohol remanente. Luego es llevado a temperatura ambiente, el Biodiesel puro es colectado y almacenado en un embudo de separación como se muestra en la [Figura 9](#).



Figura 9. Biodiesel Puro

4. CONCLUSIONES

A partir de la caracterización del aceite de *Jatropha Curcas L.* se determinó que los ácidos grasos y las propiedades fisicoquímicas están dentro de los rangos teóricos expuestos, permitiendo así determinar que este es un aceite que tiene buenas condiciones para realizar la reacción de transesterificación.

El diseño de experimento realizado permitió identificar las condiciones óptimas para la reacción de transesterificación etanólica del aceite de *Jatropha Curcas L.* definiendo 75 °C como temperatura de reacción, 12:1 para la relación molar aceite / etanol, 0.5 % NaOH como catalizador, 6 hr para el tiempo de reacción y 500 rpm para la velocidad de agitación.

Las condiciones óptimas encontradas y su alta conversión permiten determinar que el aceite de *Jatropha Curcas* puede ser usado como materia prima para obtener combustibles alternativos.

REFERENCIAS

- BERCHMANS, Hanny Johanes y HIRATA, Shizuko. Biodiesel production from crude *Jatropha curcas L.* seed oil with a high content of free fatty acids. En: *Bioresource Technology* [En línea] Hiroshima. Vol. 1, No. 1, (2007); p. 1 Disponible en internet: <www.sciencedirect.com> [consulta: 1 Oct. 2008].
- G. PÉREZ. Análisis multiparamétrico sobre la producción de “biodiesel” usando lipasas inmovilizadas como catalizador. AAIQ Asociación Argentina de Ingenieros Químicos. XXII IACChE (CIIQ) 2006 / V CAIQ
- K.G. Harding. Et al. A life-cycle comparison between inorganic and biological catalysis for the production of biodiesel. En: *Journal of cleaner production* [En línea]. South Africa .Vol 1, No.1, (2007); p.1. Disponible en internet: <www.sciencedirect.com> [consulta: 1 Sep. 2008].
- L.C, Meher, D Vidga Sagar y S.N, Naik. Technical aspects of biodiesel production by transesterification – a review .En: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. [En línea] New Delhi, India. Vol. 1, No.1, (2008); p.255. Disponible en internet: <www.sciencedirect.com> [consulta: 3 Agosto. 2009].
- MURUGESAN, A. y otros. Production and analysis of bio-diesel from non-edible oils—A review. En: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. [En línea] Tamil Nadu. Vol. 1, No.1, (2008); p.829. Disponible en internet: <www.sciencedirect.com> [consulta: 10 Mar. 2009].
- OM TAPANES, Neyda C. y otros. Transesterification of *Jatropha curcas* oil glycerides: Theoretical and experimental studies of biodiesel reaction. En: *Fuel* [En línea] Rio de Janeiro. Vol. 1, No.1, (2008); p. 2286 Disponible en internet: <www.sciencedirect.com> [consulta: 17 Jul. 2008].
- P. VYAS, Amish y otros. Production of biodiesel through transesterification of *Jatropha* oil using KNO₃/Al₂O₃ solid catalyst. En: *Fuel*. [En línea] Ahmedabd. Vol. 1, No.1, (2008); p.628. Disponible en internet:

- <www.sciencedirect.com> [consulta: 10 Mar. 2009].
- ROYON, D. et al. Síntesis Enzimática de Biodiesel Usando Terbutanol como Solvente. AAIQ Asociación Argentina de Ingenieros Químicos, 2004
- SARIN RAKESH, Sharma; MEETA S, Sinharay y R.K, Malhotra .Jatropha–Palm biodiesel blends: An optimum mix for Asia. En: Fuel [En línea] India. Vol. 1, No. 1, (2006); p. 1 Disponible en internet: <www.sciencedirect.com> [consulta: 17 Jul. 2008].
- TIWARI, Alok Kumar; Kumar, Akhilesh & Raheman, Hifjur. Biodiesel production from jatropha oil (Jatropha curcas) with high free fatty acids: An optimized process. En: The Public-Access Computer Systems Review [en línea]. Kharagpur, India.Vol 1, No.1 (2007); p.570 < www.sciencedirect.com> [consulta: 14 Marzo 2009]
- W.M.J. Achten, et al. Jatropha bio-diesel production and use. En: The Public-Access Computer Systems Review [en línea]. Leven, Belgium.Vol 1, No.1 (2008); p.15 < www.sciencedirect.com> [consulta: 21 Julio de 2008]
- Y.C, Sharma & B, Singh. Development of biodiesel: Current scenario. En: The Public-Access Computer Systems Review [en línea]. Varanasi, India. Vol 1, No.1 (2008); p.1648 < www.sciencedirect.com> [consulta: 16 Abril. 2009]

Ana María Castillo Ospina

Ingeniera Química de la Universidad Pontificia Bolivariana.

Paola Andrea Cuartas Zapata

Profesora Asistente de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Pontificia Bolivariana. Ingeniera Química de la Universidad Pontificia Bolivariana. Especialista en Ingeniería Ambiental. Investigadora Grupo de Pulpa y Papel.

SOBRE LOS AUTORES

Jorge Alberto Velásquez Jiménez

Profesor Titular de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Pontificia Bolivariana. Ingeniero Químico de la Universidad Pontificia Bolivariana. Maestro en Ciencias Forestales, graduado de la Universidad de Guadalajara. Doctor en Ingeniería Química de la Universitat Rovira i Virgili. Áreas de interés investigativo: Pulpa y Papel, Simulación de procesos químicos.