

## EXTRACCIÓN CON SOLVENTES Y PURIFICACIÓN DE ACEITE A PARTIR DE SEMILLAS DE *Jatropha curcas*

Hermógenes Giraldo Y.<sup>†</sup>, Jorge Velásquez J., Paola Cuartas A.

*Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Química. Grupo de Investigación Pulpa y Papel. Cir. 1 #70-01, Bl. 11, Medellín, Colombia.*

Recibido 12 Septiembre 2010; aceptado 02 Noviembre 2010

Disponible en línea: 21 Diciembre 2010

Resumen: Las semillas de *Jatropha curcas L.* se tratan físicamente para obtener semillas de menor tamaño libre de cáscara. Las semillas se someten a un proceso de extracción química en un equipo Soxhlet empleando diferentes solventes. Se maximiza la cantidad de aceite extraído mediante la modificación del solvente, el tamaño de partícula y el tiempo de extracción. La mezcla aceite-solvente obtenida se purifica mediante una destilación simple. Se encuentra que el solvente óptimo es el hexano con un rendimiento en la extracción del aceite del 91% para un tamaño de partícula de 0.5 mm. La cinética de la extracción muestra que el tiempo óptimo de contacto es de alrededor de 40 horas. La caracterización del aceite obtenido indica que cumple con los requerimientos de calidad. La simulación de una planta para el proceso de extracción de aceite a partir una tonelada por hora de semillas, teniendo en cuenta la curva de lodos experimental y la separación del aceite mediante un flash, muestra que se puede obtener aceite con un 97% de pureza. *Copyright © 2010 UPB.*

*Palabras clave: Jatropha curcas, Extracción Química, Aceite.*

Abstract: The *Jatropha curcas L.* seeds are treated physically to obtain smaller sizes shell free. The seeds are chemically extracted in a Soxhlet equipment using different solvents. The amount of oil extracted was maximized by the modifying of solvent, the particle size and the extraction time. The oil-hexane mixture obtained was purified by a simple distillation. The result shows that the optimal solvent is the hexane, with an oil extraction yield of 91% with a particle size of 0.5 mm. The extraction kinetic indicates that the contact optimal time is around 40 hours. The extracted oil fulfils quality requirements. The oil extraction plant simulation for one ton per hour of seeds, including the experimental sludge curve and solvent separation by a flash, indicates is possible obtain 97% purity oil.

*Keywords: Jatropha curcas, Chemical Extraction, Oil.*

---

<sup>†</sup> Autor al que se le dirige la correspondencia:  
Tel. (+574) 5511316  
E-mail: [hermogenes\\_g@yahoo.es](mailto:hermogenes_g@yahoo.es) (Hermógenes Giraldo).

## 1. INTRODUCCIÓN

La *Jatropha curcas* L. es una planta tropical ampliamente distribuida en zonas desérticas. Las semillas contienen entre 20 y 60% de aceite (Kumar y Sharma, 2008) según la variedad. Este puede ser empleado como lubricante, medicina, para producción de jabón, cosméticos, pero su principal aplicación es para la producción de biodiesel (Becker y Makkar, 2008).

La extracción de aceite a partir de semillas de *Jatropha curcas* se realiza básicamente mediante la extracción mecánica y química (Forson et al., 2004), donde la extracción mecánica presenta problemas en la pureza y recuperación del aceite con cerca del 60%. La extracción química o con solventes, por el contrario, presenta una recuperación cercana al 95% con un aceite de alta calidad y pureza (Achten et al., 2008).

Diferentes solventes se han empleado para la extracción en el laboratorio del aceite, los de mayor importancia son los solventes derivados del petróleo como el hexano y pentano, los solventes halogenados y el agua mediante el uso de enzimas (Thijs, 2006).

Se realizó una evaluación del proceso de extracción de aceite que maximice los porcentajes de recuperación del aceite mediante la valoración de solventes y el área superficial de las semillas.

Se minimizaron los costos energéticos cercanos a los 45 kW-h por tonelada de semilla procesada (Thijs, 2006) mediante la construcción de la cinética que permitió encontrar el tiempo óptimo de extracción.

Finalmente se simuló una planta para la extracción de aceite de *Jatropha curcas* involucrando las principales etapas: Extracción y purificación; en la cual se halló el flujo mínimo de solvente para recuperar un 95% del aceite, las etapas necesarias, los flujos de componentes y el calor requerido.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Materiales

**Materiales** Las semillas de *Jatropha curcas* fueron proporcionadas por la empresa Colombiana de Biocombustibles S.A. El material se limpió, descamó y se partió en trozos de menor

tamaño (ver metodología) acorde a la evaluación de tamaño de partícula.

**Extractor Soxhlet.** El equipo empleado tenía la capacidad para almacenar 250 mL de solvente y las semillas de *Jatropha* en un filtro de vidrio.

**Equipo de Destilación simple.** Se empleó un equipo de destilación provisto sobre una manta de calentamiento para la purificación y recuperación del aceite de *Jatropha curcas*.

### 2.2. Métodos

**Evaluación de solventes.** Las semillas de *Jatropha curcas* se sometieron a un proceso de extracción química en un equipo Soxhlet empleando solventes puros como el hexano, acetona, benceno, tolueno, etanol y éter de petróleo. Se emplearon 30 g de semilla y 250 mL de cada solvente por extracción. Cada evaluación se realizó dos veces por un término de 10 horas y fue controlada tal que el goteo de los solventes fuera constante asegurando un número igual de ciclos de extracción para cada solvente. La elección del mejor solvente se realizó con base en los parámetros establecidos en la [Tabla 1](#). (Wan, 1997)

**Tabla 1.** Criterios de peso para elección del mejor solvente

Factor de peso (%)	Atributo
30	Eficiencia de extracción
25	Facilidad de separación
15	Precio
10	Toxicidad
10	Inflamabilidad
5	Calidad de aceite
5	Cuidado Medioambiente

**Cinética de extracción.** Se realizaron 10 extracciones para tiempos entre 5 y 50 horas. Cada extracción fue realizada dos veces con el fin de tener datos más confiables y precisos. Luego de encontrar el mejor solvente, se construyó la cinética de extracción.

**Tamaño de partícula.** Se realizó la extracción para tamaños de semilla de 15 mm y valores medios de 3.15 – 3.55 y 0.5 – 0.56 mm medidos mediante tamices serie Tyler; esta fue realizada por 96 horas para garantizar la total extracción del aceite de las semillas. Adicionalmente se evaluó

la influencia de la cáscara en la extracción, mediante el uso de semillas sin descamar a iguales tamaños.

*Purificación y Recuperación del aceite.* La mezcla aceite solvente se sometió a una destilación simple en la cual se recuperó el aceite. Este proceso fue realizado a 70°C, temperatura suficiente para realizar la separación deseada.

*Secado de semillas.* La torta residual obtenida después de cada extracción, se secó en un horno a 70°C, luego de llegar a peso constante se calculó el porcentaje de extracción de acuerdo a la pérdida de peso de la semilla.

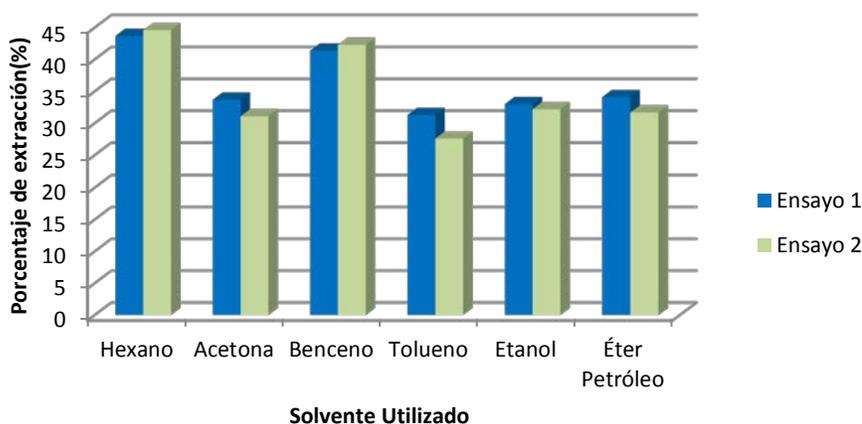
*Curva de lodos:* Se construyó una curva de lodos para la extracción de aceite de *Jatropha curcas* empleando 250 mL de hexano y tomando una serie de 10 muestras desde 5 g hasta 50 g de

semillas. El proceso extractivo se realizó durante 24 horas; Al término de cada extracción las semillas fueron separadas y secadas en un horno a 70°C durante 24 a 36 horas.

*Simulación planta de extracción:* Se realizó una simulación de una planta para la extracción con solventes de aceite de semillas de *Jatropha curcas* mediante Microsoft Excel® y complementos como Homosolver, el paquete termodinámico TermoPR-NRTL®, y la base de datos para consulta de propiedades termodinámicas de sustancias puras (Forero 2008).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la [Figura 1](#) se registran los diferentes porcentajes de extracción mediante el uso de diferentes solventes.



**Fig. 1.** Porcentaje extractivo de cada solvente

Tomando en cuenta los criterios de la [Tabla 1](#) se encontró que el solvente óptimo es el hexano con cerca de 45% de extracción para un período de 10 horas. Éste es fácilmente separable del aceite al tener un alto coeficiente de volatilidad y poder destilarse cerca de los 75°C, su precio es considerablemente menor que solventes como el benceno que también alcanza un nivel alto de extracción. Su toxicidad no alcanza niveles peligrosos para la salud humana como si sucede con el benceno que es altamente tóxico. Adicionalmente la extracción empleando hexano como solvente presenta excelentes características fisicoquímicas del aceite, al obtener un aceite claro, de baja viscosidad 23 cP y sin formación de gomas como es el caso de la extracción empleando tolueno como solvente. El daño

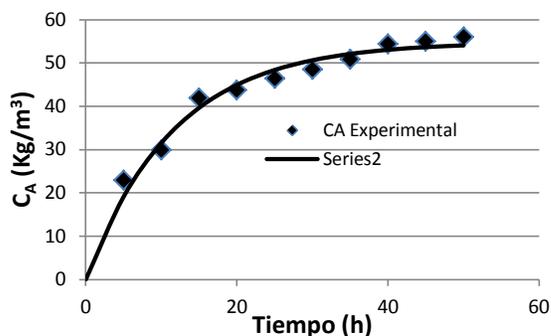
medioambiental es mínimo dado que el proceso de extracción no presenta grandes fugas de solvente y su implementación asegura la reutilización del este.

La [Tabla 2](#) es un cuadro comparativo entre los resultados de los solventes en el proceso de la extracción, donde también se presentan los criterios de peso expuestos en la [Tabla 1](#) como el precio por litro de solvente (Protokimica, 2010) y sus características de inflamabilidad y riesgos a la salud (NFPA 704, 2007)

**Tabla 2.** Cuadro comparativo entre los resultados de los solventes

Atributo	Eficiencia de extracción		Facilidad de separación		Precio		Riesgos Salud		Inflamabilidad		Calidad de aceite		Cuidado Ambiente		Total
	% Extr.	Peso Máx. 30	Temp Dest. °C	Peso Máx. 25	\$/Litro	Peso Máx. 25	NFPA 704	Peso Máx. 10	NFPA 704	Peso Máx. 10	Calidad	Peso Máx. 5	% Rec.	Peso Máx. 5	
Hexano	44.17	29	64	18	7,000	24	1	9	3	3	Excelente	5	89.5	3	91
Acetona	32.42	22	52	21	86,000	7	1	9	3	3	Bueno	4	83.5	2	68
Benceno	41.85	27	74	16	145,000	2	2	7	3	3	Regular	3	88.5	3	61
Tolueno	29.44	19	104	10	9,000	23	2	7	3	3	Deficiente	2	96.5	4	68
Etanol	32.59	22	74	16	5,000	25	1	9	3	3	Excelente	5	86.2	3	83
Éter Petróleo	32.94	22	54	22	26,000	13	2	7	4	1	Excelente	5	81.3	2	72

En la [Figura 2](#) muestra la cinética de extracción para un tamaño de partícula de 0.5 mm empleando hexano como solvente.



**Fig. 2.** Cinética de extracción

$$r^2 = 0.96$$

Se ajustó un modelo matemático para la cinética de extracción ([Geankoplis, 1998](#)), este modelo se muestra a continuación:

$$\frac{C_{AS} - C_A}{C_{AS} - C_{A0}} = e^{-kt}$$

Luego de ajustar el modelo mediante regresión no lineal para hallar los parámetros  $C_{AS}$  y  $k$  se obtiene un coeficiente de determinación de 0.96, el modelo matemático obtenido se muestra a continuación:

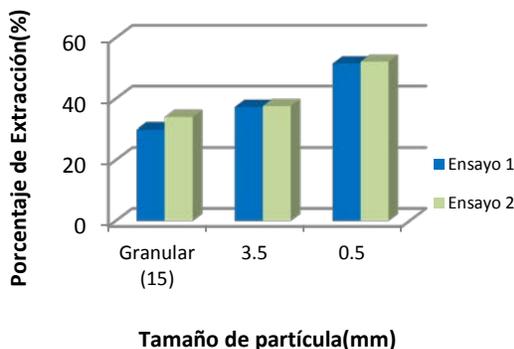
$$C_A = 54.83 - (54.83 - C_{A0})e^{-0.0856t}$$

Los resultados de ambos ensayos demostraron que durante las primeras 15 horas se presenta el mayor crecimiento en el rendimiento de extracción de aceite alcanzando un 35% aproximadamente. Pasado este tiempo se presenta

una disminución en el porcentaje de extracción que se estabiliza a las 40 horas, donde se alcanza una extracción del 47%.

De acuerdo a la cinética de extracción y dados los requerimientos energéticos tales como el calentamiento del solvente y la destilación, el tiempo óptimo de extracción se alcanza cercano las 40 horas.

En la [Figura 3](#) se presentan los porcentajes de extracción a diferentes tamaños de partícula para un periodo de extracción de 96 horas empleando hexano como solvente

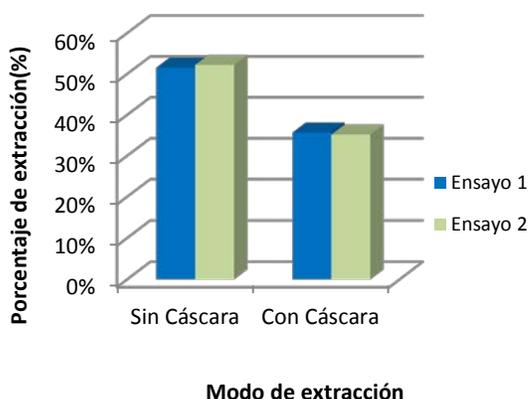


**Fig. 3.** Porcentaje extractivo a diferentes tamaños de partícula

La extracción con solventes es un proceso de transferencia de masa donde los materiales (aceite) son llevados de una fase a otra para separar uno o más compuestos de una mezcla ([Wan, 1997](#)), por lo cual es lógico pensar que a mayor área de contacto mayor porcentaje de extracción, de acuerdo a los resultados, el mayor porcentaje de extracción se alcanza con un tamaño de partícula de 0.5 mm con un porcentaje de extracción del 52%.

El proceso extractivo se realizó durante 96 horas para garantizar la total extracción del aceite de las semillas por lo cual estas contienen 52% de aceite.

Finalmente se evaluó la influencia de la cáscara en la extracción de la semilla, los resultados se muestran en la [Figura 4](#) para un tiempo de 96 horas y empleando hexano como solvente.



**Fig. 4.** Influencia de la cáscara en la extracción

Los resultados obtenidos revelan la importancia de realizar el proceso de extracción de aceite con una semilla libre de cáscara. Se demostró un aumento de aproximadamente 20% en la eficiencia de la extracción con semilla sin cáscara. Los resultados obtenidos afectan positivamente la economía del proceso y para lo cual, en el montaje de una planta industrial de producción de aceite se debe implementar un sistema descortezador de semillas.

La curva de lodos se muestra en la Figura 5. y el cálculo de los gramos de inerte, aceite y solvente son según las siguientes expresiones:

- **Inerte:** el cálculo de los gramos de inerte supone que la semilla está compuesta sólo por aceite e inerte:

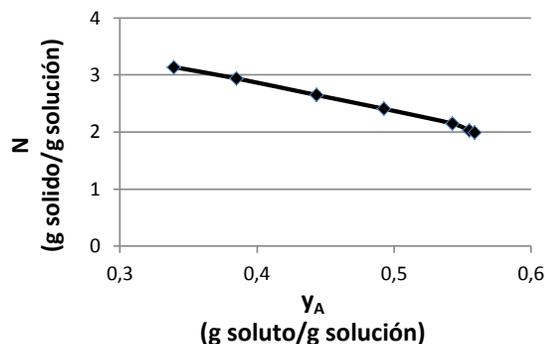
$$\text{Inerte} = \text{Gramos iniciales de } Jatropha * (1 - \text{Cantidad de aceite en la semilla})$$

- **Aceite:** El cálculo de los gramos de aceite que se extrajeron es:

$$\text{Aceite} = \text{Gramos finales } Jatropha \text{ seco} - \text{Gramos de Inerte}$$

- **Solvente:** Los gramos de solvente en el sólido son calculados en base a las semillas húmedas de *Jatropha*:

$$\text{Solvente} = \text{Gramos finales Húmedo} - \text{Gramos finales Seco}$$



**Fig. 5.** Curva de Lodos de extracción de aceite

#### 4. CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE

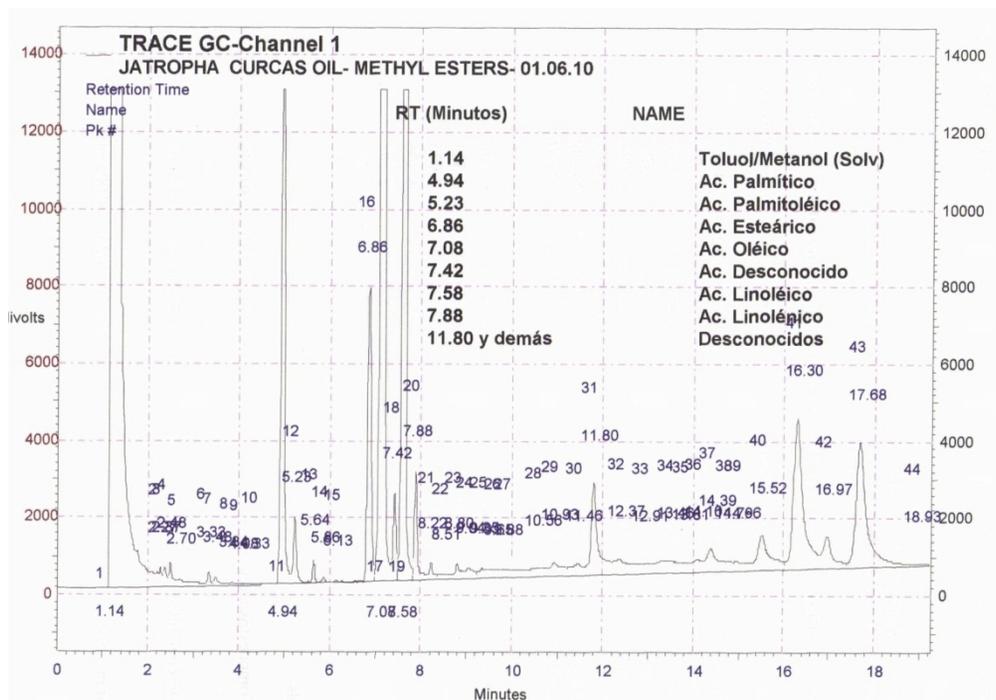
El aceite obtenido se caracterizó mediante una cromatografía de gases donde se evaluó la Composición de los principales ácidos grasos del aceite de *Jatropha curcas L* que luego fueron comparados con la bibliografía existente.. El equipo empleado fue un cromatógrafo gaseoso marca Trace-GC 2000 de Thermoquest.

El análisis de cromatografía de gases con sus respectivos tiempos de retención de los ácidos grasos se muestra en la [Figura 6](#).

La [Tabla 3](#). muestra comparativamente la composición de ácidos grasos del aceite obtenido mediante el análisis de la cromatografía de gases contra los datos reportados en la literatura ([Berchmans, 2008](#))

**Tabla 3.** Composición de ácidos grasos de *Jatropha curcas L*

Ácidos Grasos	Composición (%p/p)	
	Literatura	Obtenido
Ácido Palmítico	14.1 – 15.3	14.7
Ácido Palmitoleico	0 – 1.3	1.8
Ácido esteárico	3.7 – 9.8	9.299
Ácido oleico	34.3 – 45.8	27.83
Ácido Linoleico	29 – 44.2	24.211
Ácido Linolenico	0 – 0.3	2.876



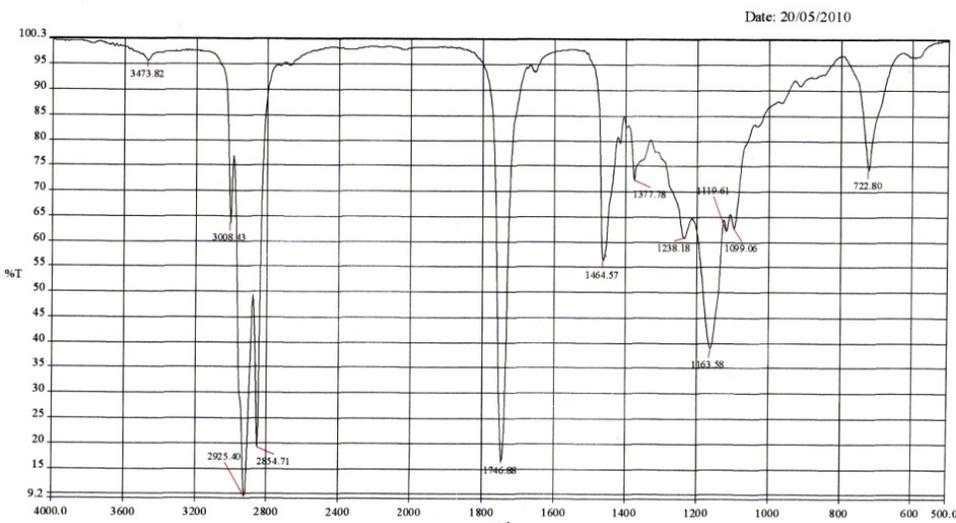
**Fig. 6.** Tiempos de retención en el análisis de cromatografía de aceite de *Jatropha curcas*

El aceite obtenido mediante la extracción con hexano presentó composiciones similares de ácidos grasos respecto a los reportados en la literatura, las pequeñas diferencias presentadas equivalen a la composición de ácidos grasos que no fueron detectados mediante el análisis cromatográfico (Ver [Figura 6](#)) y no al método de extracción con hexano, dado que este no modifica la composición del aceite. ([Brossard, 2010](#))

Se realizó un análisis infrarrojo para detectar posibles trazas del solvente empleado en la extracción (hexano), este verifica que el aceite extraído cumple con los requerimientos de calidad y su espectro infrarrojo es similar al registrado para los aceites de algodón – sésamo cacahuete y colza ([Hummel, 1990](#)). Ver [Figura 7](#).

ACEITE VEGETAL EXTRAIDO DE LAS SEMILLAS DE TROFA ( JATROPHA)

ES UN ESPECTRO INFRARROJO SIMILAR AL REGISTRADO PARA LOS ACEITES DE ALGODÓN- SÉSAMO - CACAHUETE Y COLZA

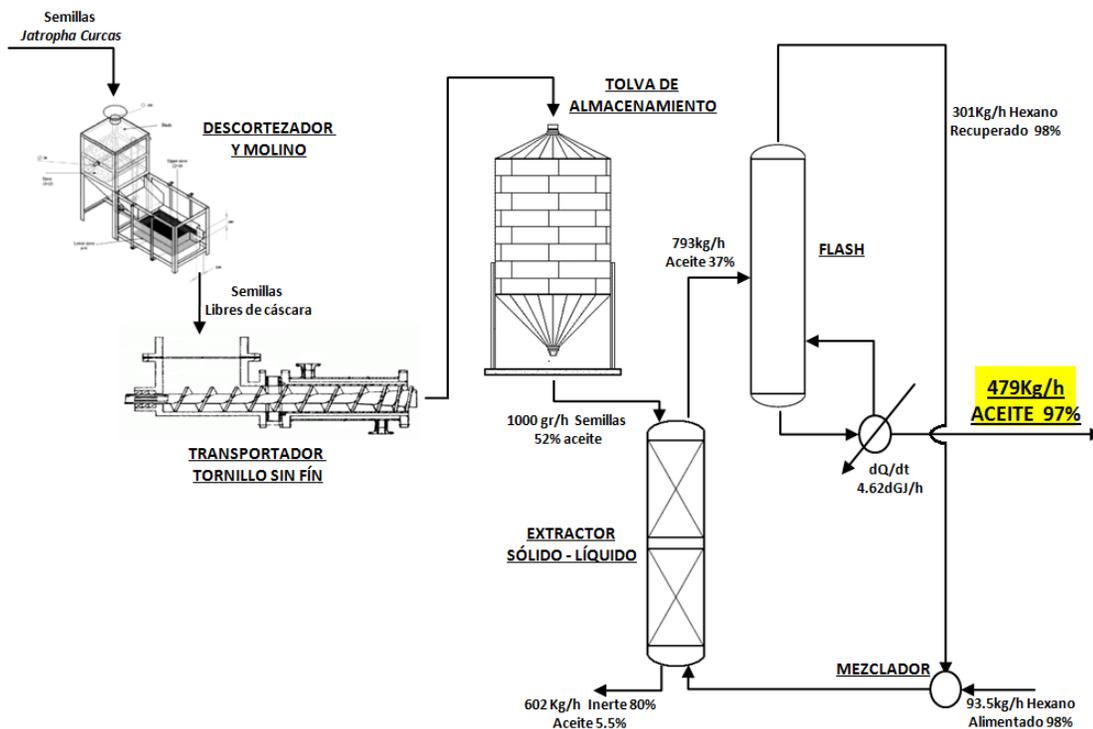


**Fig. 7.** Espectro Infrarrojo del aceite mediante extracción con hexano

5. SIMULACIÓN PLANTA DE EXTRACCIÓN

purificación de aceite a partir de semillas de *Jatropha curcas L* se presenta en la [Figura 8](#).

El esquema de una planta para la extracción y



**Fig. 8.** Esquema de una planta para extracción de aceite de *Jatropha curcas*

5.1 Simulación Extractor sólido – líquido

Se utilizó una lixiviación multietapa en contracorriente para extraer aceite de semillas de *Jatropha curcas* empleando hexano como solvente. Se procesaron 1000 kg/h de semillas con un contenido 52% Aceite.

Se alimentaron al proceso 394.53 kg/h de hexano al 98%; de los cuales el 76% fue recuperado y el restante corresponde al hexano fresco. Las semillas lixiviadas no deberían contener más de 10% de aceite

Mediante la ecuación obtenida de la curva de lodos, la relación de composiciones en el equilibrio y los balances de materia se plantearon las ecuaciones y se hallaron los flujos (incógnitas) del extractor.

La [Figura 9](#) representa el extractor con sus condiciones de operación, es decir, los balances de materia, las ecuaciones empleadas y los flujos

por componente. Los números 1, 2 y 3 corresponden al aceite, inerte (semilla libre de aceite) y hexano correspondientemente.

	$L_{i-1}$	$L_i$	$V_i$	$V_{i+1}$	$V_{Recu}$
F(Kg/h)	1000	601.90	792.62	93.522	301.00
$W_{Aceite}$	0.52	0.0552	0.6206	0.02	0.0183
$W_{Inerte}$	0.48	0.8011	0	0	0
$W_{Hexano}$	0	0.1435	0.3793	0.98	0.9816
$F_{Aceite}(Kg/h)$	517.8	33.281	491.91	1.870	5.5212
$F_{Inerte}(Kg/h)$	482.2	482.2	0	0	0
$F_{Hexano}(Kg/h)$	0	86.423	300.71	91.65	295.48
Balances			Ecuaciones		
Aceite	5.56E-10		Lodos	7.11E-14	
Inerte	0		Y=X	-9.44E-16	
Hexano	4.82E-10		Recuperación	-1.07E-12	

**Fig. 9.** Condiciones de operación extractor.

La simulación del extractor estableció un flujo mínimo de solvente fresco de 93.5 kg/h para 5 etapas, El cual recuperó el 95% del aceite alimentado, es decir, 491.91 kg/h de aceite de *Jatropha*.

La corriente rica en aceite proveniente del extractor fue purificada mediante un flash, mientras la corriente rica en inerte fue descartada, dado que sólo contiene un 5% de aceite y un 14% de hexano. La corriente de desecho podrá ser evaluada en investigaciones posteriores para su posible uso en generación de energía o síntesis de productos químicos. (Manurung, 2009)

### 5.1 Simulación Extractor sólido – líquido

Se realizó la simulación del flash para la purificación del aceite obtenido en el extractor. Se empleó el paquete termodinámico NRTL para la simulación y las constantes del modelo de presión de saturación para todas las sustancias puras fueron las reportadas en la correlación del centro de información de investigación en ingeniería química (CHERIC, 2010)

Los flujos por componente de entrada al flash fueron calculados mediante la caracterización por cromatografía de gases; se emplearon los principales ácidos grasos (los de mayor concentración) del aceite obtenido.

La [Figura 10](#) representa el extractor con sus condiciones de operación.

El flash simulado logró un flujo de aceite de 479.9 Kg/h, el cual aunque poco para una planta industrial es altamente efectivo para los 1000 kg/h de semillas alimentadas en el extractor.

El flash operó en condiciones isobáricas y se suministró un dQ/dt de 4.62 dGJ/Kmol para operar a 500 K, temperatura óptima para obtener un aceite de alta pureza 97%.

Se alcanzó un hexano de alta pureza con un flujo de 301 kg/h y una concentración del 98%; hexano que fue recirculado al proceso.

Flash	V <sub>i</sub>	L	V <sub>Recu</sub>	γ <sub>i</sub> <sup>L</sup>	P <sub>i</sub> <sup>SAT</sup>
N(kmol/h)	5.2717	1.7789	3.4928		
x <sub>1</sub> (C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> )	0.6619	0.0341	0.9816	1.0808	2698.1
x <sub>2</sub> (C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub> )	0.1208	0.3472	0.0054	1.0004	1.5976
x <sub>3</sub> (C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub> )	0.0705	0.1981	0.0055	1.0088	2.8127
x <sub>4</sub> (C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub> )	0.0400	0.1157	0.0015	0.9973	1.3665
x <sub>5</sub> (C <sub>18</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub> )	0.1066	0.3046	0.0057	1.0093	1.8974
N <sub>1</sub> (Kmol/h)	3.4894	0.0606	3.4287		
N <sub>2</sub> (Kmol/h)	0.6368	0.6177	0.0191		
N <sub>3</sub> (Kmol/h)	0.3719	0.3525	0.0193		
N <sub>4</sub> (Kmol/h)	0.2113	0.2058	0.0054		
N <sub>4</sub> (Kmol/h)	0.5621	0.5420	0.0201		
T (K)	297.15	500	500		
P (Kpa)	101.32	101.32	101.32		
H(dGJ/kmol)	-0.5729	0.1701	0.3729		
Balances			Equilibrio		
Hexano	0	Hexano	0		
Ácido Oleico	0	Ácido Oleico	0		
Ácido Palmítico	0	Ácido Palmítico	0		
Ácido Esteárico	0	Ácido Esteárico	0		
Ácido Linoleico	0	Ácido Linoleico	0		
Energía	0	dQ/dt			4.62613

**Fig. 10.** Condiciones de operación del flash

## 5. CONCLUSIONES

Las semillas de *Jatropha curcas* contienen 52% de aceite medido mediante la extracción excesiva de las semillas.

Los resultados demuestran que el solvente óptimo para la extracción de aceite es el hexano con un rendimiento de extracción del 91%.

La cinética de extracción demostró que el tiempo óptimo se alcanza cercano a las 40 horas.

La influencia de la cáscara de las semillas de *Jatropha curcas* en la extracción de aceite es relevante con una pérdida de extracción cercana al 20% empleando semilla con cáscara.

La planta para la producción de aceite de *Jatropha curcas* es altamente eficiente y en ella se obtiene un flujo másico de aceite de 479.9 Kg/h de una pureza del 97%.

Se recuperó un hexano de gran calidad con un flujo másico 301kg/h con una concentración del 98% que fue recirculado.

## NOMENCLATURA

- $L_{i+1}$  Corriente de semillas de *Jatropha* que se alimentan al extractor  
 $L_i$  Corriente rica en inerte y pobre en aceite que sale del proceso  
 $V_i$  Corriente rica en aceite y solvente que sale del extractor y es alimentada al flash.  
 $V_{i+1}$  Corriente de hexano alimentado al extractor  
 $V_{Recu}$  Corriente rica en hexano que es recuperado en el flash y posteriormente recirculado al proceso  
L Corriente rica en aceite 97%  
F Flujo másico  
 $F_i$  Flujo másico por componentes  
 $W_i$  Fracción másica por componentes  
 $\gamma_i^L$  Coeficiente de actividad por componentes de la mezcla líquida hallado mediante el modelo NRTL  
 $p_i^{SAT}$  Presión de vapor [kPa] de los compuestos puros a la temperatura del flash dada mediante la ecuación de Wagner  
N Flujo molar  
 $N_i$  Flujo molar por componentes  
 $x_i$  Fracción molar por componentes  
T Temperatura de las corrientes en grados Kelvin  
P Presión de las corrientes en kPa  
H Entalpía molar [dGJ/kmol] de la mezcla en estado líquido con respecto al estado de referencia de sustancias elementales a  $T=25^\circ\text{C}$ ,  $P=101.325$  kPa por medio del Cp Bures, la ecuación de presión de vapor de Wagner y el modelo NRTL.

### Número de compuestos

- 1 Hexano
- 2 Ácido Oleico
- 3 Ácido Palmítico
- 4 Ácido Esteárico
- 5 Ácido Linoleico

### Diagrama de colores

- Azul Grupo de ecuaciones  
Amarillo Grupo de incógnitas  
Café claro Grupo de valores derivados de cálculos internos  
Café Oscuro Grupo de valores característicos de las corrientes de alimentación

## REFERENCIAS

- Achten, W.M.J., L. Verchot, Y.J. Franken, E. Mathijs, V.P. Singh, R. Aerts y B. Muys. *Jatropha* bio-diesel production and use. Biomass and Bioenergy(2008), doi:10.1016
- Becker, Klaus y Makkar, H.P.S. *Jatropha curcas: A potential source for tomorrow's oil and biodiesel*. Lipid Technology. May 2008, Vol. 20, No. 5
- Berchmans, Johannes Hanny, Hirata Shizuko. Biodiesel production from crude *Jatropha curcas* L. seed oil with a high content of free fatty acids. Bioresource Technology 99 (2008) 1716–1721. p. 2
- Brossard, Cecilia O, Ferrari, Roseli A., Pighinellia, Anna L. y Kil Jin Parka. Evaluación preliminar del etanol anhidro como solvente en la extracción de aceite de semillas de jatrofa (*jatropha curcas* l.). Grasas y Aceites, 61 (3), Julio-Septiembre, 295-302, 2010, ISSN: 0017-3495. p. 7
- CHERIC (2008). Base de Datos en línea, en *Korea thermophysical properties data bank*, [<http://www.cheric.org/research/kdb/>]
- Forero, Luis Alejandro y Velásquez J., Jorge Alberto. Complemento en MS. Excel® para consulta de propiedades termodinámicas de sustancias puras. Revista Investigaciones Aplicadas N°.4 (2008) 23-29
- Forson, F.K., Oduro E.K., y Hammond-Donkoh E.. Performance of *jatropha* oil blends in a diesel engine. Renewable Energy 29 (2004) pp. 1135–1145.
- Geankoplis, C. J. Procesos de transporte y operaciones unitarias. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. Tercera Edición. México 1998
- Hummel, D. and Scholl, F. Atlas of Polymer and Plastics Analysis. Hanser Verlag. 1990
- Kumar, Ashwani y Sharma, Satyawati. An evaluation of multipurpose oil seed crop for industrial uses (*Jatropha curcas* L.): A review. 2008. Industrial Crops and Products 28 (2008) 1–10

## SOBRE LOS AUTORES

NFPA 704: Standard System for the Identification of the Hazards of Materials for Emergency Response, 2007 Edition.

ProtoKimica. Productos químicos. Oficina principal carrera 52 No 6 sur 35 PBX 4448787. Medellín Colombia.

R. Manurung, D.A.Z. Wever, J. Wildschut, R.H. Venderbosch, H. Hidayat , J.E.G. van Dam, E.J. Leijenhurst , A.A. Broekhuis y H.J. Heeres. Valorisation of *Jatropha curcas* L. plant parts: Nut Shell conversion to fast pyrolysis oil. food and bioproducts processing 8 7 ( 2 0 0 9 ) 187–196

Thijs, Adriaans. Suitability of solvent extraction for *jatropha curcas*. Ingenia Consultants & Engineers, for FACT Foundation (2006).

Wan, Peter J. and WAKELYN J. Phillip. Technology and solvents for extracting oilseeds and nonpetroleum oils. 1 ed. The American Oil Chemists Society, 1997. 353 p

### **Hermógenes Giraldo Y.**

Estudiante de pregrado de la facultad de ingeniería química de la Universidad Pontificia Bolivariana

### **Jorge Velásquez J.**

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.

### **Paola Cuartas A.**

Profesora Auxiliar de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Pontificia Bolivariana. Ingeniera Química de la Universidad Pontificia Bolivariana. Investigadora Grupo de Pulpa y Papel. Estudiante de Maestría en Ingeniería Área Ambiental.