

Extraction of oil from the seed of *Jatropha curcas* by acid hydrolysis and previous pretreatment

Mario Ricardo De La Cruz-Azabache ¹, José Manuel Benites-Palomares ¹ and Libio F. Espinoza-Meza ¹

¹Grupo de Investigación Biotecnología Industrial, Facultad de Ingeniería Química y Textil,

Universidad Nacional de Ingeniería, Lima Perú.

mario45b@gmail.com , mr_delacruzaza@uni.edu.pe , jb0612911@gmail.com , libioem12@gmail.com.

Abstract– This paper studies the feasibility of using *Jatropha curcas* (JC) seed as raw material to obtain vegetable oil through an innovative process of acid hydrolysis with pretreatment. The stages of the process designed for the extraction of the oil from the seed were: pretreatment of the *Jatropha curcas* seed, drying, grinding, sieving, settling, acid hydrolysis and separation of the oil obtained. An extraction yield of 56.4% was obtained, the oil quality was determined by measuring the acid value (16.1 mgKOH/mg), a peroxide value (15.7 meq O₂/kg) and the iodine value (83.88). The content of fatty acids present in the oil was also determined, with oleic acid (41.38%) being the most predominant fatty acid, followed by linoleic (31.55%) and palmitic (16.59%), respectively. The oil obtained after being treated could serve as a raw material in the production of biodiesel, this being one of its main applications because the presence of some anti-nutrient content does not make it an oil for edible purposes. In addition, by-products are obtained that can be used to generate others with greater added value.

Keywords-- *Jatropha curcas*, seed, pretreatment, acid hydrolysis, oil

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LEIRD).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LEIRD).

DO NOT REMOVE

Extracción de aceite de la semilla de *Jatropha curcas* mediante hidrólisis ácida y pretratamiento previo

Mario Ricardo De La Cruz-Azabache ¹, José Manuel Benites-Palomares ¹ y Libio F. Espinoza-Meza ¹

¹Grupo de Investigación Biotecnología Industrial, Facultad de Ingeniería Química y Textil,

Universidad Nacional de Ingeniería, Lima Perú.

mario45b@gmail.com, mr_delacruzaza@uni.edu.pe, jb0612911@gmail.com, libioem12@gmail.com.

Resumen – El presente trabajo estudia la viabilidad de usar como materia prima la semilla de *Jatropha curcas* (JC) para obtener aceite vegetal mediante un proceso innovador de hidrólisis ácida con pretratamiento. Las etapas del proceso diseñado para la extracción del aceite de la semilla fueron: pretratamiento de la semilla de *Jatropha curcas*, secado, molienda, tamizado, decantación, hidrólisis ácida y separación del aceite obtenido. Se obtuvo un rendimiento promedio de extracción de 56.4 %, la calidad de aceite se determinó midiendo el índice de acidez (16.1 mgKOH/mg), un índice de peróxido (15.7 meq O₂/kg) y el índice de yodo (83.88). También se determinó el contenido de ácidos grasos presentes en el aceite, siendo el ácido oleico (41.38%) el ácido graso que más predomina, seguido del ácido linoleico (31.55%) y palmítico (16.59%) respectivamente. El aceite obtenido luego de ser tratada podría servir como materia prima en la producción de biodiesel, siendo esta una de sus principales aplicaciones debido a que la presencia del contenido de algunos anti nutrientes no la hacen un aceite con fines comestibles. Se obtienen además subproductos que pueden ser utilizados para generar otros con mayor valor agregado.

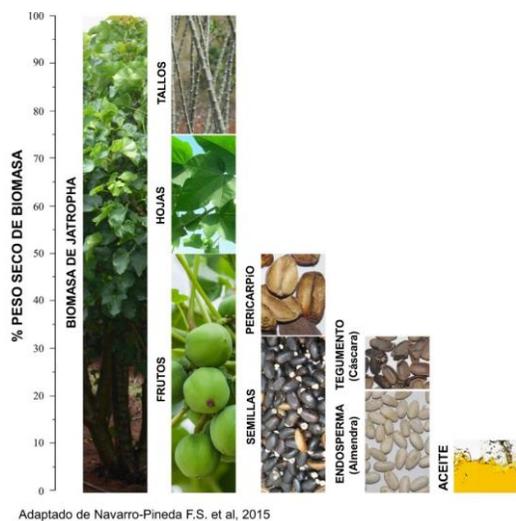
Palabras claves—*Jatropha curcas*, semilla, hidrólisis ácida, aceite.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el consumo de energía primaria a nivel mundial es fuertemente dependiente de las energías fósiles, las cuales son fuentes no renovables y que contribuyen a problemas ambientales tales como el cambio climático del planeta, siendo fuentes el petróleo, el gas natural y el carbón principalmente [1]. Para poder reducir esta dependencia y buscar alternativas que contribuyan con el cuidado ambiental, se viene impulsando el uso de energías renovables, siendo la producción de biocombustibles una alternativa, entre ellas el biodiesel obtenido a partir la transesterificación de los aceites vegetales [2]. Sin embargo, muchas de las semillas oleaginosas compiten con la producción de alimentos, por lo que se buscan nuevas materias primas que no sean usadas para este fin, destacando entre ellas la semilla obtenida de la planta de *Jatropha curcas* [3].

La *Jatropha curcas* es una planta tradicional de México y América del centro, pero también se encuentran en regiones tropicales y subtropicales del mundo, perteneciente a la familia de las Euphorbiaceae, es una planta multipropósito, es decir con muchas aplicaciones. Se caracteriza por ser resistente a terrenos hostiles, tales como suelos rocosos, suelos de grava, suelos de arena y suelos salinos, así como crecimiento frente a sequías [3]. Esta planta puede ser usada como planta medicinal, así como para el control de la erosión del suelo, pero principalmente su semilla puede servir para la extracción de aceite, debido a su alto contenido de ácidos grasos en su composición [4]. Su semilla no se considera comestible porque posee una serie de anti nutrientes en su composición, siendo principalmente el éster de forbol, el metabolito secundario que lo vuelve no comestible, debido a sus propiedades tóxicas y cancerígenas [5][6].

En la Fig 1. se muestra la planta de *Jatropha curcas* y sus partes, aproximadamente el 25% en peso es biomasa leñosa, 25% hojas y 50% frutas. La fruta contiene 3 semillas que representan el 60-70% de su peso en base seca. El endospermo de la semilla de *J. curcas* representa aproximadamente el 60-70% en peso de las semillas, y el aceite dentro de las semillas aproximadamente del 45-55% en peso del endosperma, aunque se han reportado contenidos de aceite alto como de 65 a 75% [4].



Adaptado de Navarro-Pineda F.S. et al. 2015
Fig. 1. Distribución de la Biomasa en *J. curcas* (% w/w base seca)

La extracción de aceite de la semilla de *Jatropha curcas* puede llevarse a cabo mediante diversas tecnologías, se han estudiado muchas tecnologías de extracción, entre ellas pueden destacar el uso de CO₂ como fluido supercrítico de extracción [7], también puede ser extraída mediante extracción mecánica con el uso de una prensa hidráulica [8], asimismo, mediante el uso de solventes, tales como el hexano, éter de petróleo y alcoholes como el metanol y etanol [9][10]. También se ha estudiado el uso de agua como solvente, en tratamientos enzimáticos [11] y ácidos.

En nuestra propuesta, la etapa de hidrólisis ácida consistió en la adición de un ácido inorgánico acuoso que atacó y debilitó a temperaturas de 85°C-95°C y en un tiempo controlado, a la estructura lignocelulósica de la semilla que ocluía al aceite, lográndose precisamente soltar este aceite ocluido en estas estructuras. Luego se separó el aceite extraído por decantación y/o centrifugación. En el proceso se obtuvieron como subproductos una torta de la almendra desengrasada y cáscara molida homogénea. Al respecto se han reportado estudios previos a la torta desengrasada y a la cáscara de la semilla para transformarlos en azúcares fermentables y luego etanol [12].

El aceite de *Jatropha curcas* es usado para la producción de biodiesel, el cual dependiendo de su calidad puede ser convertido directamente mediante la transesterificación con catalizadores alcalinos y metanol, cuando posee bajo índice de acidez [13]. Y mediante la reacción de esterificación ácida con metanol cuando presenta alto índice de acidez [14]. El perfil de ácidos grasos que contiene el aceite de *Jatropha curcas* en contenidos de ácidos grasos monoinsaturados y polinsaturados es mayor respecto al aceite de palma, un aceite muy usado en el Perú para la fabricación de biodiesel, esto hace que al ser transformado en biodiesel se obtenga un producto que cumpla

la normativa peruana respecto a ciertas propiedades de importancia, como las propiedades en frío [15].

En el presente trabajo se realizó la extracción de aceite de la semilla de *Jatropha curcas* a través de las etapas de pretratamiento de la semilla, secado, molienda, tamizado y extracción mediante uso de ácidos inorgánicos, finalmente se llevó a cabo la caracterización del aceite obtenido, en donde se determinaron sus principales propiedades tales como el índice de acidez, humedad, índice de peróxido e índice de yodo. También se determinó el contenido de ácidos grasos mediante el uso del cromatógrafo de gases.

II. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

A. Materia prima

La Semilla de *Jatropha curcas* fue de procedencia de la región Piura del Perú, provincia de Chulucanas-Morropón en los caseríos El Cerezo, Zapotal, Franco Alto y Bajo, el Chorro, Bocanegra y Maray. Cada fruto produce 3 semillas o cápsulas negras, cada una medida promedio de 2 cm de largo x 1 cm de diámetro. La Semilla tiene dos partes diferentes, la parte externa o tegumento o cáscara que viene a ser la cubierta y la parte interna o endosperma o almendra, tal como se describe en la Fig. 2.



Fig. 2. Cáscara y almendra de la semilla de *Jatropha curcas*

B. Producción de aceite

La extracción de aceite sigue los procesos descritos en la Fig. 3, donde la semilla pasa por procesos de pretratamiento, secado, molienda, tamizado, hidrólisis ácida y recolección de aceite.

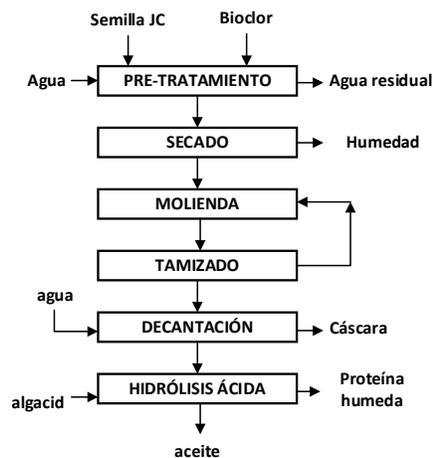


Fig. 3. Diagrama de bloques de proceso de la producción de aceite a partir de la semilla de *Jatropha curcas* mediante hidrólisis ácida

Pretratamiento

El objetivo del pretratamiento es eliminar los pigmentos de la cáscara que pudieran alterar el color del aceite en el proceso de molienda y extracción evitando así procesos de refinación del aceite, obteniéndose una semilla decolorada, pero sin alterar su composición interna. Consistió en colocar la semilla con una solución acuosa de Bicolor® (producto a base de hipocloritos de calcio y sodio) en un reactor PFR de 150 L, midiéndose los parámetros de temperatura, pH y contenido de cloro libre. Se retiraron las semillas y luego se enjuagaron con agua normal; a fin de retirar trazas de Bioclor®. (ver Fig. 4.)



Fig. 4. Semilla pretratada de *Jatropha curcas*

Secado

Las semillas pretratadas y lavadas se secaron al sol, midiéndose el cambio de peso diariamente, hasta que el peso se vuelva constante. (ver Fig. 5.)



Fig. 5. Semilla pretratada seca de *Jatropha curcas*

Molienda

Se molieron 2000 g de las semillas pretratadas secas en un molino de bolas, con un arreglo de 23 bolas de 1 1/2" y 15 bolas de 2 1/2" y con un factor de ocupación de 30 %. La molienda se realizó con recirculación a fin de reducir el tamaño a diámetros de partícula iguales y menores a las mallas Tyler 30 y 50.

Tamizado

Se usaron mallas de la serie Tyler N° 6, 10, 16, 30, 50, 100 y ciego. Todo ello colocado a través de un Ro-tap de vaivén y golpeteo, la porción semilla molida de las mallas más finas se usaron para extraer el aceite y las más grandes fueron separadas para otros usos. (ver Fig. 6.)



Fig. 6. Cortes de molienda Semilla pretratada de *Jatropha curcas*

Decantación

Se separaron las cáscaras molidas ocluidas en los cortes de extracción, adicionando agua. La decantación es fácil dado que la cáscara tiene una mayor densidad que la almendra y termina asentándose en la parte inferior del recipiente.

Hidrolisis ácida

Se lleva a cabo la hidrólisis con solución acuosa de Algacid® (producto a base de ácido clorhídrico y sales de cobre) en un reactor de acero inoxidable de 19 L de capacidad, con control de temperatura y agitación. La mezcla reaccionante está constituida por la semilla molida en mallas Tyler 30, 50 y menores; en la solución ácida acuosa con una relación en peso de 1:6 – 1:8. pH en el rango 2.0 - 3.0 y temperatura 85°C - 95°C. Se llevaron a cabo reacciones en periodos de 1 a 3 horas, manteniendo temperatura, pH y nivel de agitación constantes.

C. Caracterización del aceite

Se determinaron las principales propiedades del aceite extraído, tales como el contenido de humedad, índice de acidez, índice de yodo, índice de peróxido y el perfil de ácidos grasos.

El contenido de humedad y material volátil es expresado en %, medido según [16].

La acidez libre es expresada como % ácido oleico y el índice de acidez es expresada en mg KOH/g, medida según [17].

El índice de yodo expresado en mg/g, medida según [18].

El índice de peróxido fue expresado en meqO /kg y medido según [19].

El perfil de ácidos grasos fue medido mediante la ayuda de un cromatógrafo de gases según [20].

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Pretratamiento

Las semillas de *Jatropha curcas* al ponerse en contacto con una solución acuosa de Bioclor® a un pH 12, la cáscara sufre decoloración y pasa de su color negro natural a color blanco. El proceso se estabiliza a un pH 9. Se nota una cubierta decolorada (falsa cáscara) que tiene una consistencia plástica y con un alto poder adsorbente. Al retirarse esta capa se aprecia una cáscara brillante y de color uniforme, tal como muestra la Fig. 7



Fig. 7 Falsa cáscara de la semilla de *Jatropha Curcas*

La Fig. 8., muestra parte de la variación del pH en el reactor de pretratamiento, donde la toma de muestra es en la parte superior (zona con abundante en semilla) y en la parte inferior (sin presencia de semilla). Al inicio de la agitación se observa una leve variación en el pH, pero a partir del minuto 60 se evidencia una buena agitación debido a que no hay variación en los puntos de muestra (parte inferior y superior).

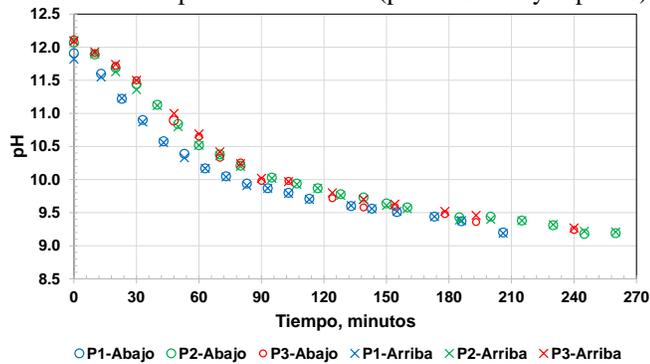


Fig. 8. Variación de pH en el pretratamiento

La temperatura durante el pretratamiento ha tenido variaciones entre 26 a 28°C, sin tener un mayor efecto en las otras variables. Para el caso del contenido de cloro activo en el tanque de pretratamiento, esta es mostrada en la Fig. 9.

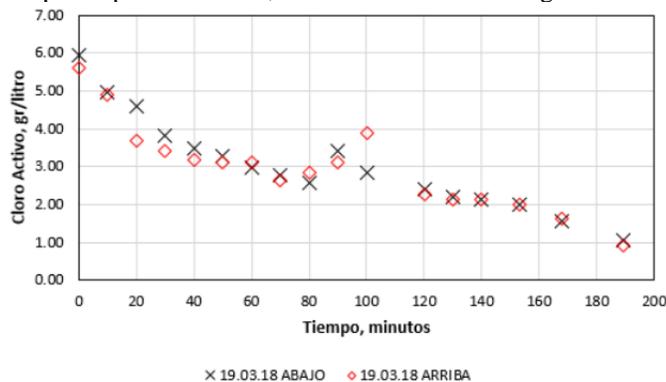


Fig. 9. Variación de cloro activo en el pretratamiento

Es notorio una disminución en los primeros 40 minutos y entre los 80 y 100 minutos se nota un incremento; posiblemente por la rotura de la falsa cáscara que tiene un alto poder absorbente. Además, se aprecia que la concentración de cloro activo pasado los 150 minutos disminuye lentamente.

3.2. Secado

El tiempo de secado depende de la temperatura y humedad del aire de secado. La semilla absorbe humedad en el proceso de pretratamiento acuoso, y básicamente debido a la cubierta de naturaleza plástica. Al secarse sola ésta; su reducción de peso coincide con la pérdida de peso en la semilla pretratada, indicando un alto poder de absorción tal como se ve en la Fig. 10., donde el material pretratado demora entre 12 a 14 días en secarse.

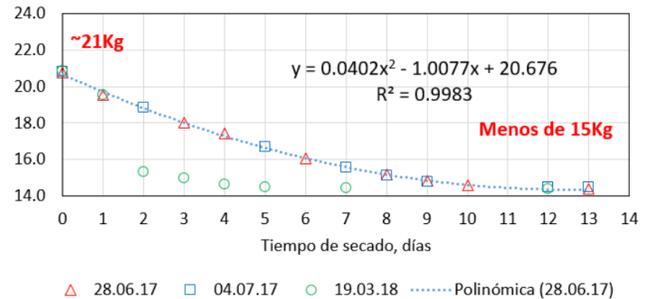


Fig. 10. Cambio de la masa de la semilla pretratada, secada al sol

3.3. Molienda y Tamizado

Se realiza una prueba de molienda con un tiempo de 105 minutos acumulados en operación y con tamizado cada 15 minutos de molienda, en la operación se utilizó 2000 gramos de semilla pretratada al inicio, luego de cada operación de tamizado se separaron las mallas Tyler 30 y 50 como productos para obtener aceite y la cantidad retenida en la malla +16 retorna a la molienda hasta cumplir los 105 minutos, luego se separa para otros usos. De acuerdo con la Fig. 11. el porcentaje de la malla 30 aumenta de 19.2 % a 23.4 % a partir del minuto 90-

Debe notarse que sólo se utiliza para la extracción de aceite los cortes de malla Tyler 30-50 e inferiores, que aglutinan la mayor cantidad de la almendra. Los cortes de diámetros de malla Tyler superiores concentran la cáscara de la semilla por lo que deben ser retiradas. Sin embargo, estos cortes son de tamaño homogéneo y pueden ser considerados como subproductos para otros usos con mayor valor agregado.

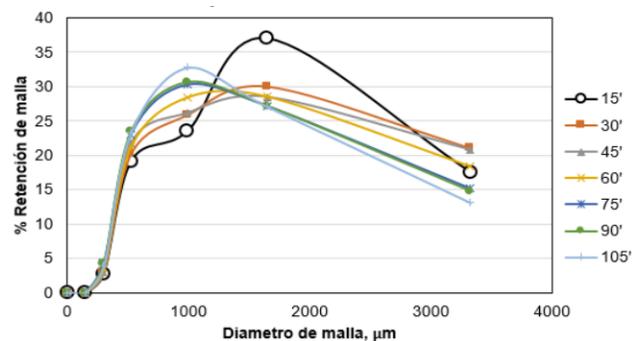


Fig. 11. Distribución de malla de moliendas de semilla de JC en cada 15 minutos

3.4. Hidrolisis ácida

Los aceites son términos genéricos de un tipo de lípidos que se originan por procesos biosintéticos en animales y plantas. Son formados por la unión de tres ácidos grasos con la glicerina mediante una reacción de esterificación, por lo cual también son llamadas triglicéridos o triacilglicéridos. Las grasas y aceites son insolubles en agua y solubles en solventes orgánicos tales como éter etílico, n hexano, cloroformo, etc., con una densidad inferior a la unidad por lo cual flotan en el agua.

En la etapa de hidrólisis ácida se tuvo como objetivo, mediante la adición de un ácido inorgánico, debilitar la estructura lignocelulósica de la semilla, a fin de que se logre soltar el aceite ocluido en estas estructuras. Lo cual se logró a temperaturas de 85°C-95°C (a partir de ese valor se mide el tiempo de operación), pH de 2.0-3.0 (Esto con una relación de semilla/Algacid® de 10 g/mL) y con una relación en peso de agua/semilla entre 6/1 a 8/1. También se obtuvo grasa vegetal.

El rendimiento promedio del 56.4 % en aceite, medido respecto al % de aceite teórico que tiene la semilla molida que ingresa a la hidrolisis ácida (33.3 % (mL/100 g) de contenido de aceite teórico). Obteniendo un mayor contenido de aceite, cuando el tiempo de operación es de 1123 minutos, la relación semilla/Algacid® es de 9.9/1 y la relación agua/semilla es de 8.1/1, siendo este un valor de 32.1 %, la cual es muy cercana al valor teórico.

TABLA I. VALORES OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE LA SEMILLA JATROPHA CURCAS

PRUEBA	1	2	3	4
TIEMPO OPERACIÓN (min)	803	1123	269	598
SEMILLA MOLIDA (g)	2014	1982	2721	1889
AGUA (L)	12.1	16	17	16
ALGACID® (L)	0.2	0.2	0.2	0.2
ACEITE OBTENIDO	283	639	292	344
% ACEITE OBTENIDO (mL/100g)	14.1	32.1	10.7	18.2
RENDIMIENTO (%)	42.2	96.7	32.2	54.7
SEMILLA/ALGACID® (g/mL)	10.1	9.9	13.6	9.4
AGUA/SEMILLA (g/g)	6.0	8.1	6.2	8.5

El aceite obtenido es recuperado mediante decantación y almacenado en frascos para su posterior análisis, tal como muestra la Fig. 12.



Fig. 12. Aceite y grasa extraída de la semilla JC

3.5. Caracterización del aceite de *Jatropha curcas*

Las principales características medidas son mostradas en la Tabla I, donde se aprecia que el índice de acidez obtenido del aceite producido resulto 16.1 mg KOH/g, siendo un valor alto, indicando una gran presencia de ácidos grasos en el aceite obtenido, por tanto si se desea usar el aceite de JC como materia prima de biodiesel, se debe eliminar este contenido de acidez mediante una reacción de neutralización, o convertir el ácido graso libre en biodiesel mediante una reacción de esterificación ácida [14].

El índice de peróxido obtenido del aceite de JC, nos indica que contiene un menor grado de oxidación en comparación con aceites vegetales de chía, girasol y soja cuyos valores reportados en un estudio fueron 22.5, 28.4 y 53.2 meqO₂/kg respectivamente [21]. Por lo que el aceite de semilla de JC reaccionan en menor cantidad en presencia con el oxígeno y así evitar descomponerse en otros compuestos que poseen un olor y sabor desagradables

TABLA II. PROPIEDADES FISICOQUIMICAS DEL ACEITE DE LA SEMILLA DE JATROPHA CURCAS OBTENIDA

PROPIEDAD	UNIDADES	VALOR
Contenido de humedad	%	2.86
Acidez libre	%	8.05
Índice de acidez	mg KOH/g	16.1
Índice de yodo	-	83.88
Índice de peroxido	meq O ₂ /kg	15.7
Contenido de humedad	%	2.86

El perfil de ácidos grasos es mostrado en la Tabla III, se aprecia que el mayor contenido de ácidos grasos es de ácido oleico, con un valor de 41.38 %, seguido de ácido linoleico con 31.55 % y ácido palmítico con 16.59 %, siendo estos valores similares al aceite extraído mediante prensado, con solventes como etanol y n-hexano reportados por [9].

TABLA III. PERFIL DE ACIDOS GRASOS DEL ACEITE DE LA SEMILLA JATROPHA CURCAS OBTENIDA

NOMBRE	ACIDO GRASO	VALOR
Acido Palmítico	C16:0	16.59
Acido palmitoleico	C16:1	0.81
Acido esteárico	C18:0	7.13
Acido oleico	C18:1	41.38
Acido linoleico	C18:2	31.55
Otros		2.16
Acidos Graso Saturado		23.72
Acidos Grasos Monoinsaturado		43.58
Acidos Grasos Poliinsaturado		31.94
Acido Graso Trans AGT		0.8

IV. CONCLUSIONES

El pretratamiento de la semilla de *Jatropha curcas* con Bioclor® a pH 12.3 elimina el pigmento que cubre la semilla lo que evitaría un proceso de refinación posterior del aceite extraído. Se detectó una cubierta de naturaleza plástica que cubre la semilla y con un alto poder absorbente, que podría ser separada para otros usos.

La molienda de la semilla produce cortes de diámetro de partículas diferenciados, notándose que las mallas Tyler 30, 50 y menores, concentran la parte de la almendra y por tanto con alto contenido de aceite. Mallas superiores con mayor diámetro de partícula, concentran la parte de la cáscara y al separarse pueden ser considerados subproductos para obtener otros productos con mayor valor agregado como por ejemplo briquetas de carbón, bioetanol, biogás, etc.

El rendimiento promedio obtenido de la extracción de aceite mediante hidrólisis ácida con Algacid® de la semilla de *Jatropha curcas* es de 56.4 %, obteniendo una extracción del 32.2 % respecto a la semilla que ingresa al proceso cuando la temperatura de 95 °C y pH de 2.0, en un tiempo de operación de 1123 minutos, la relación semilla/Algacid® es de 9.9 y la relación agua/semilla es de 8.1. Obteniendo un aceite con alto contenido de acidez libre, debido al medio acuoso y ácido, pero con valores de índice de yodo e índice de peróxidos que comparados con aceites convencionales la podrían convertir en una fuente de materia prima para la producción de biodiesel.

El perfil de ácidos grasos nos proporciona que los ácidos grasos de mayor contenido son el ácido oleico con 31.55 %, palmítico 16.59, linoleico con 31.55 % y esteárico con 7.13 %. Muy similar a los aceites de JC obtenidos con otra serie de procesos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Vicerrectorado de Investigación y a la Facultad de Ingeniería Química y Textil de la Universidad Nacional de Ingeniería por el apoyo al presente proyecto.

REFERENCIAS

- [1] Matteo, C. A. (2022). Sustentabilidad Energética: un panorama en la industria petrolera global. *LOGINN Investigación Científica y Tecnológica*, 6(1).
- [2] Cedeño, E. A. L., Rocha-Hoyos, J., Alvear, P. S., & Barboza, J. M. Producción e Impacto del Biodiesel: Una Revisión "Production and Impact of Biodiesel: A Review.
- [3] Moniruzzaman, M., Yaakob, Z., Shahinuzzaman, M., Khatun, R., & Aminul Islam, A. K. M. (2017). *Jatropha* biofuel industry: The challenges. *Frontiers in bioenergy and biofuels*, 1(12), 23-256.
- [4] Navarro-Pineda F S, Baz-Rodríguez S A, Handler R, and Sacramento-Rivero JC, "Advances on the processing of *Jatropha curcas* towards a whole-crop biorefinery," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 54, pp. 247–269, 2016
- [5] Calderon Ortiz Ana Lilia "Composición química de jatrofa (*Jatropha curcas*) tóxica, no tóxica y detoxificada, y efecto de su consumo sobre parámetros nutricionales y tóxicos en pollos." Tesis de Maestría (2012)

- [6] Cavalcante, N. B., da Conceição Santos, A. D., & da Silva Almeida, J. R. G. (2020). The genus *Jatropha* (Euphorbiaceae): A review on secondary chemical metabolites and biological aspects. *Chemico-biological interactions*, 318, 108976.
- [7] Mouahid, A., Bouanga, H., Crampon, C. y Badens, E. (2018). Extracción con CO2 supercrítico del aceite de *Jatropha curcas*: un estudio experimental y de modelado. *The Journal of Supercritical Fluids*, 141, 2-11.
- [8] Subroto, E., Manurung, R., Heeres, H. J., & Broekhuis, A. A. (2015). Optimization of mechanical oil extraction from *Jatropha curcas* L. kernel using response surface method. *Industrial Crops and Products*, 63, 294-302.
- [9] Brossard-González, C. O., Ferrari, R. A., Pighinelli, A. L., & Park, K. J. (2010). Preliminary evaluation of anhydrous ethanol as a solvent in the oilseed extraction of *Jatropha curcas* L. *Grasas y Aceites*, 61(3), 295-302.
- [10] Giraldo, H., Velásquez, J., & Cuartas, P. (2010). Extracción con solventes y purificación de aceite a partir de semillas de *Jatropha curcas*. *Revista Investigaciones Aplicadas*.
- [11] Yusoff, M. M., Gordon, M. H., & Niranjana, K. (2015). Aqueous enzyme assisted oil extraction from oilseeds and emulsion de-emulsifying methods: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 41(1), 60-82.Gh
- [12] García, A., Cara, C., Moya, M., Rapado, J., Puls, J., Castro, E., & Martín, C. (2014). Dilute sulphuric acid pretreatment and enzymatic hydrolysis of *Jatropha curcas* fruit shells for ethanol production. *Industrial Crops and Products*, 53, 148-153.
- [13] Ospina, A. M. C., Cuartas, P., & Jiménez, J. A. V. (2011). Obtención de biodiesel a partir de aceite de *Jatropha curcas* L por transesterificación etanólica. *Investigaciones Aplicadas*, 5(1), 34-41.
- [14] Huerga, I. R. (2010). Producción de biodiesel a partir de cultivos alternativos: Experiencia con *Jatropha Curcas*.
- [15] Sarmiento, M. A. S., Cantor, L. Q., & Rodríguez, M. (2010). Uso potencial de las mezclas de biodiesel de *Jatropha* y de palma en Colombia. *Studiositas*, 5(3), 85-97.
- [16] ISO 660:2009 Método 4. Animal and vegetable fats and oils - Determination of acid value and acidity - Hot ethanol method using indicator
- [17] ISO 662:2016 Método B. Animal and vegetable fats and oils. Determination of moisture and volatile matter content
- [18] ISO 3960:2017. Animal and vegetable fats and oils. Determination of peroxide value. Iodometric (visual) endpoint determination
- [19] AOAC 920.158 18th Ed.2005. Iodine absorption number of oils and fats. Hanus method
- [20] AOAC Official Method 996.06. 21th Ed. 2019. Fat (total, Saturated, and Unsaturated) in foods. Hydrolytic extraction. Gas Chromatographic Method.
- [21] Bruno Comesaña (2017). *Grasas y aceites animales y vegetales. Determinación del índice de peróxido. Determinación de punto final yodométrico*, Universidad del Trabajo del Uruguay, Uruguay, 26