

Biotempo (Lima)



<https://revistas.urp.edu.pe/index.php/Biotempo>

REVIEW ARTICLE / ARTÍCULO DE REVISIÓN

EVALUATION OF THE POTENTIAL USE OF PHYSIC NUT (*JATROPHA CURCAS* L.) FOR THE GENERATION OF BIOFUEL

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL USO DE PIÑÓN (*JATROPHA CURCAS* L.) PARA LA GENERACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLE

Ariel Gonzalo Villafuerte-Barreto¹; Freddy Zambrano-Gavilanes*¹ & Roberto Bravo-Zamora¹

¹ Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Manabí, Ecuador. E-mail: freddyzg_86@hotmail.com

*Corresponding author: freddyzg_86@hotmail.com

Ariel Gonzalo Villafuerte-Barreto: <https://orcid.org/0000-0002-1703-2901>

Freddy Zambrano-Gavilanes: <https://orcid.org/0000-0003-0004-9122>

Roberto Bravo-Zamora: <https://orcid.org/0000-0001-9648-6890>

ABSTRACT

The present work has as its main objective to evaluate the potential of the use of physic nut (*Jatropha curcas* L.) for the generation of biofuel, through a literature review. The physic nut is a shrub of economic importance, due to its various industrial uses. It is relevant for the development of bioenergy, due to the high concentration of oil in its seeds, which is why it is used for the production of biodiesel, while the shells of its fruits can be considered for the production of ethanol due to its high cellulose content. The cake obtained after the oil extraction process is a useful organic by-product that contains considerable amounts of macro and micronutrients, being suitable for agricultural use as organic fertilizer, and if the cake goes through a detoxification process, it can be used as animal feed.

Keywords: bioenergy – by-product – Euphorbiaceae – oil

RESUMEN

El presente trabajo tiene como principal objetivo evaluar el potencial del uso de piñón (*Jatropha curcas* L.) para la generación de biocombustible, mediante una revisión de literatura académica. El piñón es un arbusto de importancia económica, debido a sus diversos usos industriales. Es relevante para el desarrollo de la bioenergía, debido a la alta concentración de aceite en sus semillas por lo que se utiliza para la producción de biodiesel mientras que las cáscaras de sus frutos pueden considerarse para la producción de etanol por su alto contenido en celulosa. La torta obtenida después del proceso de extracción de aceite es un subproducto orgánico útil que contiene cantidades considerables de macro y micronutrientes siendo adecuado para uso agrícola como fertilizante orgánico, además la torta si pasa por un proceso de detoxificación es posible su uso como alimento animal.

Palabras clave: bioenergía – Euphorbiaceae – aceite – subproductos

INTRODUCCIÓN

El piñón (*Jatropha curcas* L.) es un arbusto de la familia Euphorbiaceae de importancia económica, debido a sus diversos usos industriales (Selanon *et al.*, 2014). Es una planta resistente a la sequía y se adapta a diferentes condiciones climáticas de las regiones tropicales y subtropicales (Liu & Mai, 2022; Bezerra-Neto *et al.*, 2022).

El piñón es una planta relevante para el desarrollo de la bioenergía, debido a la alta concentración de aceite en sus semillas, que puede variar entre 40-60% y se utiliza para la producción de biodiesel mientras que las cáscaras de sus frutos pueden considerarse para la producción de etanol por su alto contenido en celulosa (García *et al.*, 2014; Jayakumar *et al.*, 2022). También estas semillas se utilizan en medicina, producción de jabón y fabricación de cosméticos en varios países (Reddy, 2020). Su importancia actual como materia prima para producir biocombustibles, ha motivado el inicio de investigaciones para conocer sobre su comportamiento y relación con factores bióticos y abióticos del entorno (Cañarte *et al.*, 2017).

La torta de *J. curcas* es un subproducto orgánico útil que contiene cantidades considerables de nitrógeno, fósforo, potasio y micronutrientes (Massoud *et al.*, 2017). Es un sustrato que no genera efecto tóxico al suelo y se considera adecuado para uso agrícola como fertilizante orgánico (Raheman & Mondal, 2012). Además, es un buen sustrato para la producción de biogás, encontrando hasta un 70% de gas metano en su composición, teniendo la ventaja de su uso directo sin ningún tratamiento, obteniendo resultados aplicables en la generación de energía (Jingura & Kamusoko, 2018).

En algunos países desconocen la importancia económica, social de este cultivo y muchos agricultores, se plantean la pregunta de qué tan rentable será cultivar esa planta, así mismo muchos empresarios se preguntarán será rentable económicamente para distribuir el biodiesel en el mercado como un combustible, estas personas desconocen el potencial de este cultivo, es así que en este trabajo tiene como principal objetivo evaluar el potencial del uso de piñón *J. curcas* para la generación de biocombustible, mediante una revisión de literatura académica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se ejecutó mediante revisión bibliográfica virtual en las principales bases de datos, SCOPUS, Web of Science, Scielo, Latindex y Google Scholar desde 2005

hasta 2022, totalizando 42 documentos científicos tanto en español, portugués e inglés.

Además, se han revisado libros y repositorios virtuales de tesis universitarias que han indicado el uso de biocombustible de aceite de piñón.

Para buen uso de las referencias se utilizó el gestor de referencias Mendeley.

En la revisión efectuada se seleccionaron aquellos trabajos que contenían informaciones relacionadas con las siguientes combinaciones de palabras clave “*Jatropha curcas*”, “*Jatropha curcas* and oil”, “*Jatropha curcas* and biodiesel”, “*Jatropha curcas* and ethanol” y “*Jatropha curcas* cake and co-product”, tomando como referencia informaciones de los últimos años.

Aspectos éticos: Los autores señalan que se cumplieron todos los aspectos éticos a nivel nacional e internacional.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El piñón taxonomía y morfología

En 1753, Carlos Lineu fue el primero en nombrar el piñón como *J. curcas* según la nomenclatura binomial de “Especies Plantarum”, nombre que está vigente hasta la actualidad. El género *Jatropha* deriva de la palabra griega *jatros* que significa médico y *trophe* que significa alimento, debido a estos significados se le atribuye usos medicinales (Divakara *et al.*, 2010).

El piñón es un pequeño arbusto de usos múltiples, siendo una planta con muchos atributos, múltiples usos y un potencial considerable (Pandey *et al.*, 2012). Puede usarse para prevenir o controlar la erosión, para recuperar suelos infértiles debido a la biomasa que genera de las hojas.

Se menciona que el piñón es originario de América tropical (Ando, 2017), pero ya está muy extendido en muchas partes de los trópicos y subtropicos, así como en África y Asia (Guo *et al.*, 2016). Es una planta de crecimiento rápido, que alcanza de 3-5 m hasta 8-12 m de altura con un diámetro de tronco de 20 a 30 cm si las condiciones ambientales son favorables (Divakara *et al.*, 2010). El tallo es liso y blando, verde o pardo grisáceo, su madera es poco resistente y blanda. Normalmente, se forman cinco raíces: una central y cuatro periféricas (Saturnino *et al.*, 2005).

Las hojas son caducas, superpuestas alternas, filotaxis en espiral, cada hoja a 105° de distancia de la siguiente, con nervaduras blanquecinas y protuberantes en la parte inferior (Saturnino *et al.*, 2005), las hojas nuevas son de color rojo oscuro en ambas superficies y se vuelven verdes posteriormente al madurar (Saturnino *et al.*, 2005).

Las inflorescencias son monoicas, con racimos que contienen numerosas flores masculinas (verdes) en mayor número ubicadas en los extremos de las ramas, mientras que las flores femeninas (amarillo - verde) se posicionan en el medio de las ramas (Mendoza *et al.*, 2008).

Los frutos son cápsulas ovoides indehiscentes con un diámetro de 1,5 a 3,0 cm que contienen tres semillas, pero pueden tener dos o cuatro semillas. Inicialmente, son verdes; después de la maduración de amarillo a marrón o negro. Contienen 60-70% de semillas y 30-40% de cáscaras del peso total de los frutos (Mendoza *et al.*, 2008).

Las semillas maduras y secas de *Jatropha* son relativamente uniformes, con un promedio de $1,75 \pm 0,06$ cm de largo,

$1,09 \pm 0,05$ cm de ancho y $0,87 \pm 0,05$ cm de espesor. Tienen forma ovoide, dorso convexo ligeramente redondeado y cara ventral convexa ligeramente triangulada. El tegumento es seco, duro, grueso, exteriormente glabro, liso y de color negro, con finas estrías irregulares y amarillentas, e interiormente liso y pardo. Poseen una carúncula semicircular, ligeramente cónica y diminuta, de color negro, situada en la parte ventral, próxima al ápice de la semilla. El rafe está formado por una línea recta, longitudinal y ventral, que se extiende desde el hilio hasta la base de la semilla. El hilio es un pequeño punto de difícil visualización, ubicado en la parte apical ventral de la semilla, y el micrópilo se ubica debajo de la carúncula, estando cerrado por un tejido membranoso. El tejido de reserva es el endospermo, de consistencia firme y color blanco, que envuelve al embrión espatulado, axial y blanco (Pimenta *et al.*, 2013). Cada semilla de *J. curcas* pesa entre 1,53 y 2,85 g y contiene entre un 25 y un 40% de aceite inodoro que es fácil de extraer por presión. Un kg de semillas contiene entre 1000 y 2370 semillas (Saturnino *et al.*, 2005). En la Figura 1 se encuentran las diferentes partes de la planta de piñón.

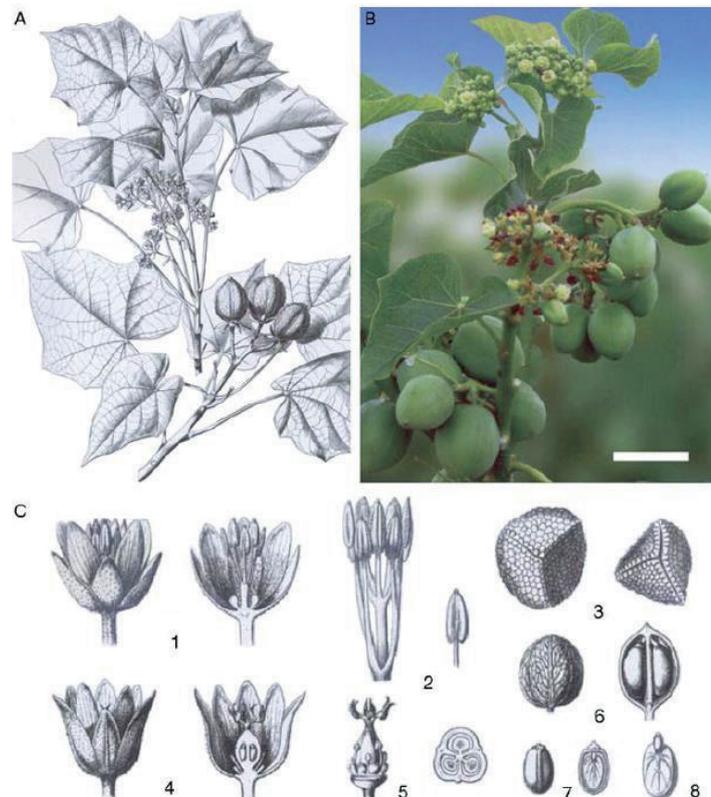


Figura 1. Inflorescencia de *Jatropha curcas* (A) dibujada por Johannes Muller Argoviensis (1874). (B) *In situ*. La barra blanca mide 3 cm. (C) Detalles de la flor masculina (1), anteras (2), grano de polen (3), flores femeninas (4), estigma, estilo, ovario y glándulas de néctar de arriba a abajo y, a la izquierda, una sección del ovario mostrando los tres carpelos (5), fruto (6), semilla (7) y embrión (8) (Tomado de Carels, 2009).

Extracción de aceite de piñón

La extracción del aceite usando semillas oleaginosas se realiza de diferentes formas. Los métodos utilizados son: extracción por solvente, extracción mecánica, extracción enzimática y extracción acuosa. Para aplicación en áreas rurales, la extracción mecánica se considera la mejor opción. En esta extracción se utilizan prensas hidráulicas para extraer el aceite de las semillas. En general, se prefiere este método debido a su menor costo inicial y operativo, y porque puede ser operado fácilmente por personal semicalificado (Subroto *et al.*, 2015).

La máquina expeller es la más usada para la extracción de aceite de piñón, ella consiste en una prensa de jaula, en la que la presión se desarrolla por medio de un eje rotatorio o tornillo sinfín en vez de un pistón de acción intermitente. En la jaula se desarrolla una presión extremadamente alta, del orden de 140 a 2800 kg·cm⁻², por medio de la acción del eje contra un orificio o estrangulación regulable, que restringe la descarga de la torta al extremo de la jaula (Carrera *et al.*, 2020). El proceso de extracción del aceite se encuentra en la Figura 2.

Dependiendo de la fabricación del expeller y del tratamiento de las semillas va a existir variación en el porcentaje de la extracción de aceite. En una investigación

efectuada por Pradhan *et al.* (2011) investigaron los efectos del contenido de humedad y la cocción en el rendimiento de aceite de *Jatropha*, obtuvieron máxima recuperación de aceite con 73,14% donde las semillas fueron llevadas a un nivel de humedad en base seca de 9,69% y cocinados a 110 °C por 10 min.

En un estudio realizado por Yate *et al.* (2020) aplicando diferentes modelos para la extracción de aceite de *Jatropha* encontraron que la mejor combinación de condiciones de operación fue: temperatura de extracción de 90 °C, velocidad de rotación de 40 rpm y tamaño de boquilla de 11 mm. Operando en estas condiciones, la eficiencia del aceite obtenido fue del orden del 57% con una extracción capacidad de unos 9 kg·h⁻¹. La recuperación de aceite en estas condiciones de operación se mejora precalentando las semillas a 60 °C al menos durante 30 min. La caracterización de este aceite extraído bajo esas condiciones mostró que puede ser utilizado como biocombustible de acuerdo a las especificaciones DIN 51605:2020-02.

Los principales ácidos grasos en el aceite de piñón son el ácido oleico, el ácido linoleico, el ácido palmítico y el ácido esteárico, que constituye un 21,6 % de ácidos grasos saturados, un 45,4 % de monoinsaturados y un 33,0 % de ácidos grasos poliinsaturados (Tambunan *et al.*, 2012).

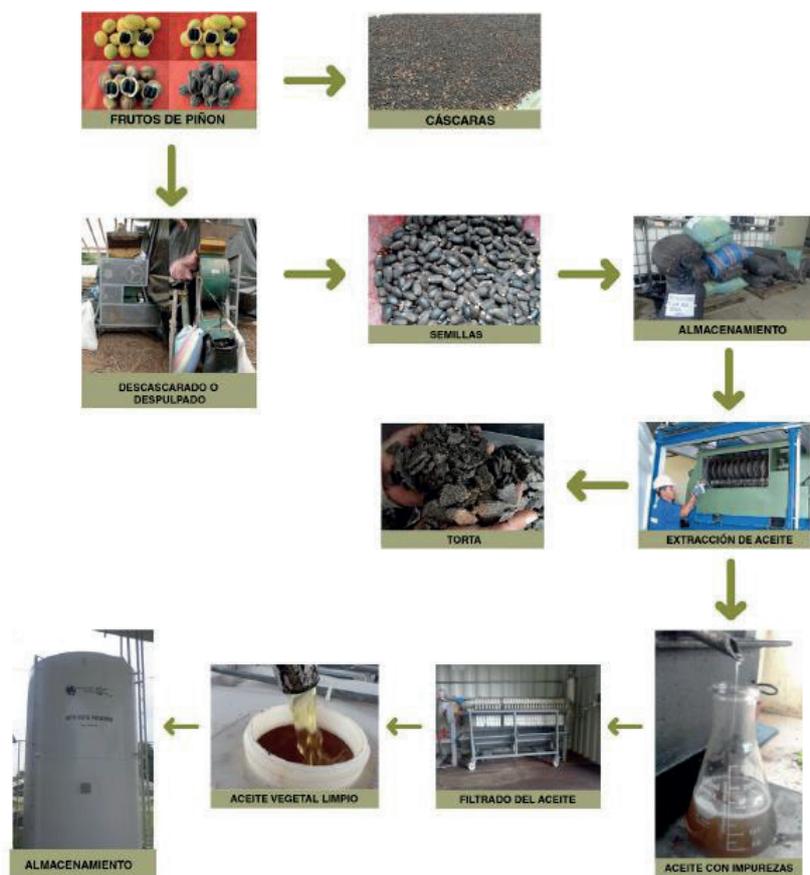


Figura 2. Proceso de la extracción del aceite de piñón (Tomado de Ponce *et al.*, 2020).

Uno de los ejemplos del uso del aceite de piñón como biocombustible es la generación de electricidad en las Islas Galápagos de Ecuador. Desde 2010 un sistema híbrido de dos generadores de aceite de *Jatropha* de origen alemán con una potencia eléctrica de 69 kW (kW_{el}) y una planta fotovoltaica con una potencia eléctrica pico de 21 kW (kW_{pico}) está suministrando con éxito electricidad a partir de energías renovables a los habitantes y turistas de Isla Floreana (Gruber, 2014). Los equipos de alemanes recomiendan que la calidad del aceite de *Jatropha* se compare con los requisitos de la norma de colza (DIN 51605), lo que debería resultar en el logro de un aceite de *Jatropha* de buena calidad para la combustión, por ejemplo, en motores diésel (Estrella *et al.*, 2011). Las actividades de estandarización están actualmente en

camino en Alemania (DIN 51623) y Europa (estándar CEN WS 56) para definir la calidad de diferentes aceites vegetales, incluido el aceite de *Jatropha*.

El aceite crudo de *Jatropha* tiene varias características beneficiosas porque se almacena bien porque es espeso y bajo en ácidos grasos libres. Los ácidos grasos insaturados con alto índice de yodo que tiene la capacidad de permanecer licuado a temperaturas más frías, y también se enciende fácilmente debido a su bajo contenido de azufre. La desventaja es el alto nivel de ácidos oleico y linoleico insaturados que lo hace susceptible a la oxidación cuando se almacena (Herremans & Echegaray, 2018), en la Tabla 1 se encuentra la comparación de las propiedades físicas del aceite de *Jatropha* con el diésel.

Tabla 1. Comparación de las propiedades físicas del aceite de *Jatropha* con el diésel.

Combustible	Densidad Kg/l (15/40 °C)	Punto de solidificación en frío	Punto de inflamación °C	Azufre	Número de Cetano
Diesel	0,84 – 0,85	-14,00	80,00	1,00-1,20	47,80
Aceite de <i>Jatropha</i>	0,91 – 0,92	2,00	110,00 – 240,00	0,13	51,00

Fuente: Herremans & Echegaray (2018).

Biodiesel de piñón

El biodiesel es un combustible líquido renovable que ha sido reconocido como una alternativa potencial y aditiva al diesel de petróleo convencional. Biodiesel es el nombre coloquial de los ésteres alquílicos de ácidos grasos, este combustible oxigenado es renovable, biodegradable y ecológico y tiene una buena eficiencia de combustión, además es una alternativa para evitar contaminaciones a los ambientes marinos y terrestres, también las dimensiones de la energía sostenible son fundamentales para sustentar todo el sistema socioecológico, integrando los aspectos económicos y sociales (Cañadas-López *et al.*, 2017). Tiene propiedades físicas y combustibles adyacentes a las del diésel de petróleo y, por tanto, se puede utilizar directamente en un motor diésel sin modificaciones en el motor o con ligeras modificaciones (Azhar *et al.*, 2017; Hosseini, 2019).

Los aceites vegetales, también conocidos como triglicéridos, se están convirtiendo en una de las materias primas renovables prometedoras para la producción de

biodiesel y se han vuelto más atractivos recientemente debido a sus beneficios ambientales. Al ser renovable con un contenido energético similar al diésel después de sufrir algunas modificaciones químicas (Kumar & Sidharth, 2018), los aceites vegetales comestibles como la canola, la soya, la colza, el girasol y el maíz se han utilizado para la producción de biodiesel, se consideran buenos sustitutos del diésel (Morales-Téllez, 2017). También se ha demostrado que los aceites vegetales no comestibles, como *Madhuca indica* (J. König ex L.), *J. curcas* y *Pongamia pinnata* (L.) Pierre, son adecuados para la producción de biodiesel (Koh & Ghazi, 2011).

Para poder utilizar aceites vegetales directamente como combustible, estos aceites requieren una modificación química para que puedan corresponder a las propiedades del diésel fósil (McNutt, 2016). Una de las técnicas de procesamiento que se utilizan principalmente para convertir los aceites vegetales es la microemulsificación (Jain & Sharma, 2010). que son fluidos isotrópicos estables y transparentes con tres componentes: una fase

oleosa, una fase acuosa y un tensioactivo. La fase acuosa puede contener sales u otros ingredientes y el aceite puede consistir en una mezcla compleja de diferentes hidrocarburos y olefinas. Esta fase ternaria puede mejorar las características de pulverización explosiva de los constituyentes de bajo punto de ebullición en las micelas (Koh & Ghazi, 2011). Todas las microemulsiones con butanol, hexanol y octanol pueden cumplir la limitación de viscosidad máxima para motores diésel (Jain & Sharma, 2010).

Fue desarrollado un proceso de dos pasos para preparar biodiesel de aceite de *J. curcas*. Los ácidos grasos libres del aceite crudo se convirtieron en ésteres metílicos en la preesterificación catalizada por ácido sulfúrico o ácido sólido antes de la transesterificación. El índice de acidez del aceite disminuyó de 14,0 mg-KOH/g-aceite inicial a menos de 1,0 mg-KOH/g aceite en 2 h a 70 °C bajo la condición de 12% en peso de metanol en aceite, 1,0 % en peso de H₂SO₄ en aceite. El catalizador ácido sólido SO₄²⁻/TiO₂ (ST) para preesterificación se preparó mediante calcinación de ácido metatitánico. Se encontró que la conversión de ácidos grasos libres fue superior al 97% a 90 °C durante 2 h utilizando catalizadores en serie del 4% en masa con una relación molar de metanol y ácidos grasos libres de 20:1. El rendimiento de biodiésel por transesterificación fue superior al 98% en 20 min de tiempo de reacción utilizando KOH al 1,3% como catalizador y una relación molar de metanol a aceite de 6:1 a 64 °C. La reacción de transesterificación es un pseudo-segundo orden con una energía de activación E_a de 15,46 kJ / mol (Lu *et al.*, 2009).

Etanol de piñón

El etanol es un sustituto renovable de los combustibles derivados del petróleo, como la gasolina. En la actualidad, la mayor parte del etanol que se produce en el mundo se produce por fermentación de azúcares obtenidos de melazas, cereales y frutas. La celulosa es un carbohidrato que se encuentra en abundancia y se encuentra en muchos desechos, como lodos, papel y pulpa, residuos de madera, desechos textiles, etc. La utilización de celulosa para la producción de etanol puede minimizar la dependencia actual del mundo de los combustibles derivados del petróleo (Mohit *et al.*, 2011).

La torta de *Jatropha* tiene la capacidad de someterse a hidrólisis ácida y fermentación para la producción de bioetanol por ser una buena fuente de celulosa. En el futuro, la torta de *Jatropha*, que es un subproducto de desecho de la planta de biodiesel, puede usarse como una buena materia prima para la producción de etanol y

también resolver el problema de la eliminación segura del subproducto (Mohit *et al.*, 2011).

Las cáscaras de los frutos de piñón podrían considerarse para la producción de etanol, García *et al.* (2014) investigaron la composición de las cáscaras y evaluaron su potencial del pretratamiento con ácido sulfúrico diluido para mejorar la hidrólisis enzimática de la celulosa, lograron conversiones de celulosa superiores al 80% tanto en la hidrólisis enzimática separada como en la sacarificación y fermentación simultáneas de los materiales pretratados. Óptimas para pretratamientos a 136 °C y concentraciones moderadas de ácido (1,5 %) y tiempo de reacción (30 min).

Subproductos de la torta de piñón

Las plantas oleaginosas dejan tras su proceso de extracción de aceite, una serie de subproductos entre ellos se destaca la torta, generalmente ricos en proteínas que se utilizan para la elaboración de abonos orgánicos, biocombustibles, industria farmacéutica y llevan consigo otros procesos agroindustriales importantes.

La torta de *Jatropha* contiene un alto porcentaje en proteínas, pero en su composición posee toxinas como los ésteres de forbol siendo su destoxicación un gran desafío para su utilización industrial en el procesamiento de alimentos. En una investigación utilizando torta de *Jatropha* destoxicada con NaOH-NaClO, encontraron 18,76% de proteínas, con metanol 33,97% de proteínas y con etanol 64,69% de proteínas, demostrando que es factible utilizar este producto en la dieta animal (Jarama-Arroyo *et al.*, 2014). Además, es posible eliminar de manera enzimática los ésteres de forbol por medio de la lipasa de semilla cruda de *Jatropha* germinada demostrando una alta eficiencia de desintoxicación al reducir el porcentaje a 98,43%, siendo este un método seguro para la degradación, ya que es una forma fácil y económica de desintoxicación (Abou-Arab *et al.*, 2019).

La pirólisis rápida puede convertirse en un elemento esencial en las biorrefinerías de *J. curcas* para mejorar las cáscaras de frutos secos y la torta en aceite de pirólisis rápida, un biocombustible prometedor de segunda generación (Kongkasawan *et al.*, 2016). El proceso de pirólisis es muy flexible en materia prima, lo que implica que también se pueden recuperar otros residuos (hojas, madera) de las plantaciones (Kaewpengkrow *et al.*, 2017) y en el caso del piñón es una alternativa para aprovechar cualquiera de los residuos generados tanto de campo como en el proceso de industrialización.

Se concluye que el piñón es un arbusto de importancia económica, debido a sus diversas aplicaciones industriales. Es importante para el desarrollo de bioenergía, por su elevada concentración de aceite en sus semillas por lo que se le emplea para la obtención de biodiesel; en cambio las cáscaras de sus frutos pueden usarse para la producción de alcohol etílico por su elevado contenido en celulosa. La torta obtenida posterior al proceso de extracción de aceite es un subproducto orgánico adecuado que contiene cantidades considerables de macro y micronutrientes, siendo adecuado para empleo agrícola como fertilizante orgánico. En adición la torta si pasa por un proceso de destoxificación es posible su empleo como un alimento animal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abou-Arab, A. A.; Mahmoud, M. H.; Ahmed, D. M. & Abu-Salem, F. M. 2019. Comparative study between chemical, physical and enzymatic methods for *Jatropha curcas* kernel meal phorbol ester detoxification. *Heliyon*, 5: e01689.
- Ando, T. 2017. *Tracing the dispersal routes by local names of Jatropha*. In: *The Jatropha Genome*. Tsuchimoto, S. (Ed.). (pp. 259-273). Springer, Cham.
- Azhar, S. H.; Abdulla, R.; Jambo, S. A.; Marbawi, H.; Gansau, J. A.; Faik, A. A. & Rodrigues, K. F. 2017. Yeasts in sustainable bioethanol production: a review. *Biochemistry and Biophysics Reports*, 10: 52-61.
- Bezerra-Neto, E.; Coelho, J. B. M.; Jarma-Orozco, A.; Rodríguez-Páez, L. A. & Pompelli, M. F. 2022. Modulation of photosynthesis under salinity and the role of mineral nutrients in *Jatropha curcas* L. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 208: 314-334.
- Cañadas-López, Á.; Rade-Loor, D.; Domínguez-Andrade, J. M.; Vargas-Hernández, J. J.; Molina-Hidrovo, C.; Macías-Loor, C. & Wehenkel, C. 2017. Variation in seed production of *Jatropha curcas* L. accessions under tropical dry forest conditions in Ecuador. *New Forests*, 48: 785-799.
- Cañarte, E.; Valarezo, O. & Navarrete, B. 2017. Estudio de la artropofauna asociada a piñón (*Jatropha curcas* L.) en Manabí, Ecuador. *Ecuador es calidad: Revista Científica Ecuatoriana*, 4:1.
- Carels, N. 2009. *Jatropha curcas*: a review. *Advances in botanical research*, 50: 39-86.
- Carrera, P. J. V.; Osorio, W. A. H.; Velarde, G. G. & Herrera, N. J. 2020. Selección y Diseño de una Máquina extractora de aceite del piñón *Jatropha curcas*. *Conciencia Digital*, 3: 26-44.
- Divakara, B. N.; Upadhyaya, H. D.; Wani, S. P. & Gowda, C. L. 2010. Biology and genetic improvement of *Jatropha curcas* L.: a review. *Applied Energy*, 87: 732-742.
- Estrella, R.; Strauss, P.; Braun, M.; Karres, S.; Klaus, W.; Rodriguez, I.; Moreno, A.; Samaniego, A. & Manzano, L. 2011. *Pv-battery-biofuel hybrid system for zero fossil fuel electricity generation on the Galapagos islands*. Fraunhofer Institute for Wind Energy and Energy System Technology, Kassel, 10.
- 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.
- Gruber, G. 2014. Pure *Jatropha* oil for power generation on Floreana Island/Galapagos: Four years experience on engine operation and fuel quality. *Journal of Energy and Power Engineering*, 8: 929-938.
- Guo, G. Y.; Chen, F.; Shi, X. D.; Tian, Y. S.; Yu, M. Q.; Han, X. Q.; Li-Chun, Y. & Zhang, Y. 2016. Genetic variation and phylogenetic relationship analysis of *Jatropha curcas* L. inferred from nrDNA ITS sequences. *Comptes rendus biologiques*, 339: 337-346.
- Herremans, I. M. & Echegaray, A. M. 2018. Biofuels in the energy mix of the Galapagos Islands. 49-56.
- Hosseini, M. 2019. *Advanced Bioprocessing for Alternative Fuels, Biobased Chemicals, and Bioproducts: Technologies and Approaches for Scale-Up and Commercialization*. Academic Press. <https://www.elsevier.com/books/advanced-bioprocessing-for-alternative-fuels-biobased-chemicals-and-bioproducts/hosseini/978-0-12-817941-3>
- Jain, S. & Sharma, M.P. 2010. Prospects of biodiesel from *Jatropha* in india: a review. *Renewable and sustainable Energy Review*, 14: 763-771
- Jarma-Arroyo, B.; Vanegas, Y.; Pompelli, M. F.; Garrido, C.; Bezerra Neto, E. & Jarma-Orozco, A. 2014. Detoxification of *Jatropha curcas* L. seed meal as possible alternative livestock feed in the Colombian Caribbean. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 17: 171-178.

- Jayakumar, M.; Gebeyehu, K. B.; Selvakumar, K. V.; Parvathy, S.; Kim, W. & Karmegam, N. 2022. Waste Ox bone based heterogeneous catalyst synthesis, characterization, utilization and reaction kinetics of biodiesel generation from *Jatropha curcas* oil. *Chemosphere*, 288: 132534.
- Jingura, R. M. & Kamusoko, R. 2018. Technical options for valorisation of *Jatropha* press-cake: a review. *Waste and biomass valorization*, 9: 701-713.
- Kaewpengkrow, P.; Atong, D. & Sricharoenchaikul, V. 2017. Selective catalytic fast pyrolysis of *Jatropha curcas* residue with metal oxide impregnated activated carbon for upgrading bio-oil. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42: 18397-18409.
- Koh, M. Y. & Ghazi, T. I. 2011. A review of biodiesel production from *Jatropha curcas* L. oil. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15: 2240-2251.
- Kongkasawan, J.; Nam, H. & Capareda, S. C. 2016. *Jatropha* waste meal as an alternative energy source via pressurized pyrolysis: A study on temperature effects. *Energy*, 113: 631-642.
- Kumar, N. & Sidharth. 2018. Some studies on use of ternary blends of diesel, biodiesel and n-octanol. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 40: 1721-1728.
- Liu, G. & Mai, J. 2022. Habitat shifts of *Jatropha curcas* L. in the Asia-Pacific region under climate change scenarios. *Energy*, 251, 123885.
- Lu, H.; Liu, Y.; Zhou, H.; Yang, Y.; Chen, M. & Liang, B. 2009. Production of biodiesel from *Jatropha curcas* L. oil. *Computers & Chemical Engineering*, 33: 1091-1096.
- Massoud, A.; Koreish, E.; Rashad, M. & Kandil, M. 2017. Effect of *Jatropha curcas* seed cake on soil health parameters and growth of wheat plant (*Triticum aestivum* L.) grown in sandy and calcareous soils. *Alexandria Science Exchange Journal*, 38: 474-483.
- McNutt, J. 2016. Development of biolubricants from vegetable oils via chemical modification. *Journal of industrial and Engineering Chemistry*, 36: 1-12.
- Mendoza, H.; Cañarte, E.; Rodríguez, M.; López, J. 2008. *El piñón (Jatropha curcas L.) una alternativa para tierras marginales secas*. INIAP E.E. Portoviejo. (Folding informativo # 341). Ecuador. 6p.
- Mohit, S. M.; Chandrashekhar, B.; Tanushree, C. & Kanwal, S. 2011. Production of bio-ethanol from *Jatropha* oilseed cakes via dilute acid hydrolysis and fermentation by *Saccharomyces cerevisiae*. *International Journal of Biotechnology Applications*, 3: 41-47.
- Morales-Téllez, M. 2017. *Producción de biodiesel asistido por dispersión de alta trasquilación* (Master's thesis, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla).
- Pandey, V. C.; Singh, K.; Singh, J. S.; Kumar, A.; Singh, B. & Singh, R. P. 2012. *Jatropha curcas*: A potential biofuel plant for sustainable environmental development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16:2870-2883.
- Pimenta, A. C.; Zuffellato-Ribas, K. C. & Laviola, B. G. 2013. Morfología de frutos, sementes e plântulas de *Jatropha curcas*. *Floresta*, 44: 73-80.
- Ponce, W.; Viteri, A.; Limongi, R.; Pincay, J.; Avellán, B. & Moreira, P. 2020. *Manual de cosecha y procesamiento del grano de piñón (Jatropha curcas L.) para la obtención de biocombustible*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Estación Experimental Portoviejo. Manabí-Ecuador.
- Pradhan, R. C.; Mishra, S.; Naik, S. N.; Bhatnagar, N. & Vijay, V. K. 2011. Oil expression from *Jatropha* seeds using a screw press expeller. *Biosystems engineering*, 109: 158-166.
- Raheman, H. & Mondal, S. 2012. Biogas production potential of *Jatropha* seed cake. *Biomass and bioenergy*, 37:25-30.
- Reddy, P. A. 2020. *Economic viability of Jatropha biodiesel production on available land in the island of Viti Levu*. In *Translating the Paris agreement into action in the Pacific*. Singh, A. (Ed.). (pp. 257-285). Springer, Cham.
- Saturnino, H.M.; Pacheco, D.D. & Kakika, J. 2005. Cultura do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.). *Informe Agropecuario*, 26: 44-78.
- Selanon, O.; Saetae, D. & Suntornsuk, W. 2014. Utilization of *Jatropha curcas* seed cake as a plant growth stimulant. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 3: 114-120.
- 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.

Tambunan, A. H.; Situmorang, J. P.; Silip, J. J.; Joelianingsih, A. & Araki, T. 2012. Yield and physicochemical properties of mechanically extracted crude *Jatropha curcas* L oil. *Biomass and Bioenergy*, 43: 12-17.

Yate, A. V.; Narváez, P. C.; Orjuela, A.; Hernández, A. & Acevedo, H. 2020. A systematic evaluation of

the mechanical extraction of *Jatropha curcas* L. oil for biofuels production. *Food and Bioprocess Processing*, 122: 72-81.

Received March 20, 2022.

Accepted July 18, 2022.