



The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

No endorsement of AgEcon Search or its fundraising activities by the author(s) of the following work or their employer(s) is intended or implied.

Pulp oil quality of *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Ex Mart: Alternative for biodiesel production in Mexico

Calidad de aceite de pulpa de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Ex Mart: alternativa para la producción de biodiesel en México

Martínez-Valencia Biaani B.^{1*}, Díaz-Fuentes Víctor H.¹, Ruíz-Cruz Pablo A.¹

¹Campo Experimental Rosario Izapa. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Kilómetro 18. Carretera Tapachula-Cacahoatán. Tuxtla Chico, Chiapas. C. P. 30870.

*Autor para correspondencia: martinez.biaani@inifap.gob.mx

ABSTRACT

Objective: Physicochemically characterize coyol (*Acrocomia aculeata*) pulp oil as a raw material to produce biodiesel.

Design/Methodology: The fruits were collected in eight locations between the regions of Chiapas and Oaxaca, Mexico. These were peeled and separated in peel, pulp and almond, placed in bags and stored at 4 °C. For the physicochemical characterization, standardized methods recommended by national and international standards were used. The experiments were performed in triplicate, an analysis of variance and multiple comparison of means was carried out with the Scott-Knott test ($p \leq 0.05$) using the R program.

Results: The moisture content and oil content of eight *A. aculeata* collections were determined. In addition to physicochemical characterization of coyol pulp oil, obtaining high values in fatty acids, which represents a parameter that can affect the yield for obtaining biodiesel.

Limitations/Implications: Coyol fruits should be stored immediately to avoid the formation of free fatty acids.

Conclusions: The physicochemical analyzes of pulp oil indicate that they are comparable to good quality vegetable oils such as soy (*Glycine max*), moringa (*Moringa oleifera*), rapeseed (*Brassica napus*), given the predominance of monounsaturated fatty acids, particularly oleic acid. The pulp of *A. aculeata* of the analyzed collections, are an excellent source of lipids and high oil content and have good physicochemical characteristics, which represents its viability as a raw material for the production of biodiesel.

Keywords: quality, biofuels, bioenergetic inputs.

RESUMEN

Objetivo: Caracterizar físicoquímicamente aceite de pulpa de coyol (*Acrocomia aculeata*) como materia prima potencial para la producción de biodiesel.

Diseño/ Metodología: Los frutos fueron colectados en ocho localidades entre las regiones de Chiapas y Oaxaca. Estos fueron procesados y separados en cascara, pulpa y almendra, colocados en bolsas y almacenados a 4 °C. Para la caracterización físicoquímica se utilizaron los métodos estandarizados y recomendados por las normas nacionales e internacionales. Los experimentos fueron realizados por triplicado, se realizó un análisis de varianza y comparación múltiple de medias con la prueba de Scott-Knott ($p \leq 0.05$) utilizando el programa R.

Resultados: Se determinó el contenido de humedad y contenido de aceite de ocho colectas de *Acrocomia aculeata*, además, de caracterizar físicoquímicamente el aceite de pulpa de las mismas, obteniendo



valores altos en los ácidos grasos, que representa un parámetro que puede afectar el rendimiento para la obtención de biodiesel.

Limitaciones/Implicaciones: Los frutos de coyol recién cosechados deben ser almacenados inmediatamente para evitar la formación de ácidos grasos libres.

Conclusiones: Los análisis fisicoquímicos del aceite de pulpa indican que son comparables a los aceites vegetales de buena calidad como soya (*Glycine max*), moringa (*Moringa oleifera*), colza (*Brassica napus*), dado el predominio de los ácidos grasos monoinsaturados, en particular del ácido oleico. La pulpa de *A. aculeata* de las colectas analizadas, son excelente fuente de lípidos con alto contenido de aceite y poseen buenas características fisicoquímicas, lo que representa su viabilidad como materia prima para la producción de biodiesel.

Palabras claves: calidad, biocombustibles, insumos bioenergéticos.

INTRODUCCIÓN

Existe un gran interés a nivel mundial de utilizar nuevas fuentes de energías limpias para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero que afectan a la población. El uso continuo y creciente del petróleo ha intensificado la contaminación del aire y problemas de calentamiento global causados por el CO₂ (Shay, 1993). Debido a esta situación, se ha promovido el uso de los biocombustibles a partir de etanol, biodiesel o biogás, ellos poseen características amigables con el medio ambiente en comparación con los residuos fósiles. Una de las alternativas para producir biodiesel es utilizar aceites vegetales y grasas animales como materia prima. La elección del tipo de aceite o grasa depende de su composición química, del proceso de transesterificación y de los costos que se generan durante el proceso (Bockey, 2006), además del contenido de aceite de la materia prima. Por otro lado, el rendimiento en la obtención del biodiesel durante el proceso de transesterificación se ve afectado por la presencia de los ácidos grasos libres en el aceite, contenido de humedad y otras impurezas (Kamakar *et al.*, 2010).

En la actualidad, se han realizado diversas investigaciones sobre aceites vegetales para la producción del biodiesel

como el aceite de soya (*Glycine max*), aceite de palma (*Elaeis guineensis*), aceite de coco (*Cocos nucifera*), aceite de colza (*Brassica napus*), aceite de *Jatropha curcas*, aceite de higuera (*Ricinus communis*) y aceite residual (Du *et al.*, 2004; Darnoko and Cheryan, 2000; Korus *et al.*, 1993; Solís *et al.*, 2019; Sahar *et al.*, 2018). Las palmeras se consideran las especies de plantas más prometedoras capaces de producir aceites vegetales (del Río *et al.*, 2016). En la actualidad se producen más de 32 millones de toneladas de aceite de palma a nivel mundial seguido por el aceite de soya con más de 31 millones de toneladas (FAOSTAT, 2019). Según los datos publicados por la FAO, en México se producen 400,331.82 toneladas de colza y 367,039.18 toneladas de soya (FAOSTAT, 2019), pero estos aceites no pueden ser utilizadas como materia prima para producir biodiesel debido a que son destinados para la alimentación humana, tal como lo establece la Ley promoción y desarrollo de los bioenergéticos.

En este país, se encuentran especies de plantas que tienen un gran potencial para la producción de aceite, tal es el caso de la *Acrocomia aculeata*. Esta planta, es una palmera oleaginosa altamente productiva, pertenece a la familia Arecaceae nativa de las regiones tropicales de América Latina, con las mayores concentraciones en Brasil en las regiones del sudeste y medio oeste (del Río *et al.*, 2016). En México se distribuye desde el norte de Veracruz hasta la península de Yucatán y desde Sinaloa hasta Chiapas. El fruto de *A. aculeata* tiene un diámetro de 25 a 60 mm, con epicarpio liso y mesocarpio fibroso amarillo o blanco. Juntos, el epicarpio y el mesocarpio representan aproximadamente el 58% de la fruta e involucran a la nuez (endocarpio y almendra), que representa alrededor del 42% de la fruta (Motoike y Kuki, 2009), el aceite se encuentra en la pulpa y almendra del fruto. Con el objetivo de encontrar nuevas alternativas de materias primas oleaginosas, se realizó un estudio sobre el potencial del aceite de pulpa de *Acrocomia aculeata* para la producción de biodiesel, determinando el contenido de aceite, caracterización fisicoquímica y composición de ácidos grasos del aceite de ocho colectas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los frutos fueron recolectados en poblaciones naturales en ocho localidades entre las regiones de Chiapas y Oaxaca (Cuadro 1). Fueron procesados y separados en cascara, pulpa y almendra, colocados en bolsas y almacenados a 4 °C. Los experimentos se realizaron en el Laboratorio de Bioenergía del INIFAP, ubicado en el Campo

Cuadro 1. Ubicación geográfica de las poblaciones naturales de *A. aculeata*.

Código	Estado	Municipio	Localidad	Localización geográfica	
Acrojicle	Chiapas	Jiquipilas	San Clemente	16° 22' 37.4" N	93°48' 21.8" O
Acrovicha	Chiapas	Villaflores	Chanona	16° 19' 07.5" N	93°24' 58.1" O
Acroripe	Chiapas	Villaflores	Rancho "Las Peñitas"	16° 23' 06.0" N	93°15' 35.7" O
Acroixsa	Chiapas	Tuxtla Chico	Gatica	14° 56' 19.5" N	92°11' 04.0" O
Acrohigo	Oaxaca	Unión Hidalgo	Circuito José F. Gómez	16° 27' 50" N	94°51' 33" O
Acrotaza	Oaxaca	Tapanatepec	Col. Emiliano Zapata	16° 25' 55.8" N	94°15' 20.2" O
Acroguexa	Oaxaca	Guevea de Humboldt	Xadani	16° 47' 33.5" N	95°22' 05.0" O
Acroixfra	Oaxaca	San Francisco Ixhuatán	Ixhuatán	16° 19' 34" N	94° 39' 12" O

Experimental Rosario Izapa en Tuxtla Chico, Chiapas, México.

Determinación de humedad

Se pesaron 3 g de pulpa en un recipiente a peso constante y se colocaron durante 24 h a 60 °C, en una estufa con secado convectivo marca Yamato. Posteriormente fueron pesados y por diferencia gravimétrica se determinó el contenido de humedad de la pulpa. Los experimentos se realizaron por triplicado y se llevó a cabo el análisis de varianza y comparación múltiple de medias con la prueba de Scott-Knott ($p \leq 0.05$), mediante el programa R.

Determinación del contenido de aceite

Para determinar el contenido de aceite se pesaron 3 g de muestra de pulpa seca y colocados en un cartucho para después ser extraídos con hexano por el método Soxhlet, durante 4 horas a 70 °C. Posteriormente con un rota evaporador (Heidolph®) fue eliminado el exceso de hexano. El matraz con la muestra de aceite se colocó en una estufa a 60 °C durante 24 h para eliminar las trazas de hexano que pudieron haber quedado después de la destilación. Por gravimetría se determinó el contenido de aceite de la muestra. Los experimentos fueron realizados por triplicado se llevó a cabo el análisis de varianza y comparación múltiple de medias con la prueba de Scott-Knott ($p \leq 0.05$), mediante el programa R (Enio et al., 2014; R Core Team, 2018).

Determinación de las características fisicoquímicas del aceite

Para realizar la caracterización fisicoquímica del aceite, se extrajeron 100 mL de aceite de pulpa seca por el método de Soxhlet utilizando hexano como solvente. Para determinar la densidad y viscosidad cinemática del aceite se utilizó un viscosímetro (Anton Paar®) a una temperatura de 40 °C de acuerdo a la norma ASTM D7042.

Con respecto al índice de saponificación se utilizó el método de la AOCS (Official method Cd 3-25e). Para el índice de acidez y el índice de yodo se determinó bajo la metodología descrita por la AOAC (1990). Y finalmente el índice de peróxido se utilizó la metodología descrita por la AOCS Official method Cd 8-53.

Determinación de ácidos grasos

El aceite de la pulpa fue extraído con éter de petróleo en la proporción 1:20 (peso/volumen) por 8 h a temperatura ambiente con agitación constante. Después de la centrifugación, el solvente fue removido por destilación. Los esteres metílicos se prepararon del total de los lípidos por el método AOAC (1990). Los ácidos grasos metilados se analizaron por Cromatografía de Gases (GC-14A, Shimadzu, Japan) equipado con autosampler (AOC20s, Shimadzu, Japan), con autoinyector (AOC-20i) y un Columna capilar Varian Carbowax CB52(50M, 0.25 mm ID) y un detector de ionización de flama (FID). El programa de temperatura fue de 160 a 225 °C, con helio como gas de arrastre a un flujo de 1 mL por min. Se utilizó una mezcla de ácidos grasos metilados para identificar a los compuestos de las muestras. Los niveles de los ácidos grasos fueron estimados por las áreas de los picos de los esteres metílicos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El contenido de humedad de la pulpa vario significativamente entre 9.53% y 56.21% (Cuadro 2). La alta variación fue debido al estado de madurez del fruto, los valores altos de humedad se registraron en frutos maduros con coloración amarillo/café, mientras que los valores más bajos de humedad fueron de frutos de color café (Figura 1). Lescano et al. (2015), reporta que las frutas maduras de *A. aculeata* presentan un contenido de humedad de pulpa entre 50 % y 63%. En la Cuadro 2, muestra los contenidos de pulpa seca en el fruto, resaltando que los genotipos Acroixsa y

Acrohigo (colectas) representan los mayores valores para esta variable, pero no fueron los que destacaron en los valores del contenido de aceite. El contenido de aceite encontrado en la pulpa de los ocho genotipos de *A. aculeata*, osciló en un rango de 31.23% a 51.427% (Cuadro 2). Diversos autores han estudiado la pulpa de la *A. aculeata*, y reportan contenido de aceite de pulpa de 23.62% (Lescano *et al.*, 2015), 41.67% (del Rio *et al.*, 2016) y 35.01 % (Martínez *et al.*, 2017). Según los datos mostrados, existe diferencia ($p \leq 0.05$) entre estos valores. Los valores más elevados fueron obtenidos por los genotipos Acrovipe y Acrojicle, que registraron una proporción de 2.87 g y 2.55 g de aceite de pulpa, respectivamente (Cuadro 2). Sin embargo, Acroixsa se puede considerar como el mejor genotipo porque mostró valores de mayor producción de aceite por individuo debido a su rendimiento de fruto (2,232 frutos por árbol), (Díaz *et al.*, 2018), lo que resulta en una producción de aceite por árbol de 4,798.8 g.

El Cuadro 3, presenta las características fisicoquímicas evaluadas referentes a un índice de yodo del aceite con valores de entre 98 g de $I_2/100g$ y 164.97 g de $I_2/100g$, con diferencias significativas entre colectas, lo que indica que este aceite contiene mayor proporción de ácidos grasos insaturados que saturados.

El Índice de saponificación del aceite de los genotipos fue entre 130.83 mgKOH/g a 100.76 mgKOH/g. Trabajo reportado por Coimbra y Jorge (2012) registraron un índice de saponificación de 181 mgKOH/g, resaltando que un



Figura 1. Frutos de genotipos de *Acrocomia aculeata* recolectados en diferentes sitios, a) Acrojicle, b) Acrovicha, c) Acrohigo, d) Acrotaza, e) Acrovipe, f) Acroguexa, g) Acroixfra, h) Acroixsa.

Cuadro 2. Características de fisicoquímicas de la pulpa de coyol (*Acrocomia aculeata*).

Colecta	Peso de fruto (g)	Humedad de la pulpa (%)	Contenido de pulpa seca por fruto (g)	Contenido de aceite de pulpa (%)
Acrojicle	30.77±2.37a*	45.89±3.9c	17.718±2.566b	50.199±2.263 a
Acrovicha	28.87±1.64 a	52.21±0.89b	18.477±0.859b	46.739±2.382b
Acrovipe	29.39±1.65 a	46.54±2.71c	17.03±2.548b	51.427± 0.319a
Acrohigo	25.26±0.10b	9.53±0.345e	25.73±0.396a	31.230±1.026e
Acroguexa	18.20±0.69d	36.27±2.34d	20.92±0.514b	34.783±1.309d
Acroixfra	16.12±1.62d	11.11±3.11e	16.364±3.362b	33.207±0.079e
Acrotaza	27.73±1.89 a	56.68±1.16a	15.051±1.196b	35.268±0.395d
Acroixsa	21.02±0.49c	10.63±1.45e	27.71±1.352a	37.357±0.118c

*Medias con letras distinta por columna son significativamente diferentes (Scott-Knott ≤ 0.05).

Cuadro 3. Características físicoquímicas del aceite de pulpa de coyol *Acrocomia aculeata*.

Colecta	Ácidos grasos libres (%)	Índice de yodo (I ₂ /100g)	Índice de saponificación (mgKOH/g)	Índice de peróxido (meq de O ₂ /kg)	Densidad (g/cm ³)	Viscosidad (mm ² /s) a 40 °C
Acrojicle	11.92±1.631d*	98.26±4.359d	100.76±0.791e	4.29±0.707b	0.899±0.0003a	35.70±0.083e
Acrovicha	18.39±2.303b	147.98±10.50b	120.15±0.424d	2.12±0.098c	0.903±0.0002a	40.75±0.001b
Acrohigo	16.38±0.124c	155.49±4.53a	119.27±0.579d	3.84±0.20b	0.898±0.0002a	34.71±0.006f
Acrotaza	18.62±0.139b	125.45±6.922c	119.87±2.089d	3.68±0.163b	0.902±0.0003a	43.34±0.124a
Acrovipe	19.76±0.231a	142.76±4.487b	127.28±0.433b	Nd**	0.894±0.0003a	31.35±0.012g
Acroguexa	6.74±0.158g	160.14±2.135a	125.45±0.152c	Nd**	0.898±0.0002a	38.10±0.035d
Acroixfra	9.95±0.577e	164.97±8.973a	124.73±0.071c	5.95±0.219a	0.911±0.0002a	39.09±0.026c
Acroixsa	8.73±0.059f	137.99±2.256b	130.83±0.885a	2.39±0.071c	0.921±0.0002a	40.92±0.061b

*Medias con letras distintas por columna son significativamente diferentes (Scott-Knott ≤ 0.05). **No detectado.

alto valor de saponificación indica que los aceites son triglicéridos normales y muy útiles como materia prima en la producción de industrias para jabones y biodiesel (Akbar et al., 2009). En el índice de peróxido fueron encontrados dos genotipos sin presencia de oxidación del aceite (Acrovipe y Acroguexa), y los demás se obtuvieron en un rango entre 2.12 meq de O₂/kg y 5.95 meq de O₂/kg, mostrando un bajo grado de oxidación del aceite.

Con respecto a la densidad del aceite, se obtuvieron valores entre 0.894 g/cm³ y 0.921 g/cm³ a 40 °C, y no se detectaron diferencias significativas entre los genotipos. La norma europea marca que los aceites destinados para biodiesel deben tener una densidad superior a 0.860 g/cm³. Por lo cual los materiales evaluados se encuentran dentro de la norma. En cuanto a la viscosidad el mayor valor fue de 43.34 mm²/s del aceite de pulpa del genotipo Acrotaza, existiendo diferencias significativas entre genotipos. De manera general la viscosidad de los aceites disminuye con el aumento de instauración y con la disminución del peso molecular de sus ácidos grasos. La presencia de ácidos grasos libres en aceite fue alta (Cuadro 3). La calidad general de un aceite vegetal se expresa en términos de su acidez (FFA siglas en inglés, como ácido oleico) e índices oxidativos. Un valor mayor a 10% para este parámetro, genera un alto grado de hidrolisis afectando el rendimiento de obtención de biodiesel. El aumento de la acidez en el aceite de la pulpa de coyol, depende del grado de maduración, recolección y almacenamiento de los frutos (Evaristo et al., 2016; Del Rio et al., 2016), además de cómo se preparan las muestras para los procedimientos analíticos (Trentini et al., 2016; Lescano et al., 2015).

Autores como Favaro et al. (2017) recomiendan que las frutas deben recolectarse del racimo y procesarse lo antes posible para lograr una baja acidificación. Por otro lado, se ha reportado que las frutas mantenidas en el suelo, siete días posteriores a extraer el aceite, presentan acidez del aceite inferior al 1% (Evaristo et al., 2017), mientras que en otro trabajo se registró una acidez del 5.6% en el aceite obtenido de frutas recolectadas directamente del racimo (del Rio et al., 2016). Un estudio menciona presencia de lipasas en pulpa de coyol, indicando que se encontró actividad lipolítica endógena en frutas en el suelo hasta por 30 d, con temperatura entre 40 °C a 70 °C, por lo tanto, una acidificación puede favorecerse por la temperatura de secado del fruto (Favaro et al., 2017). Debido a esto, es necesario realizar un estudio más detallado sobre la influencia de factores como temperatura, grado de madurez, tipo de colecta de fruto (en el suelo o en el racimo), almacenamiento de los frutos y presencia de microorganismos para minimizar la presencia de ácidos grasos libres en el aceite, debido a que alta presencia de ácidos grasos libres provoca bajos rendimientos de obtención de biodiesel. Por otro lado, un aceite con características de ácidos grasos libres superior al 10% es necesario esterificar para disminuir los niveles de acidez del aceite.

Diversos aceites vegetales son potenciales como materia prima para la producción de biodiesel, pero la calidad del combustible es afectada por el tipo de ácido graso presente en el aceite (Akbar et al., 2009). Además de que el grado de saturación y ramificación de los aceites tienen influencia en algunos parámetros sobre la calidad del biodiesel, tales como: número de cetano, punto de fusión, estabilidad oxidativa y viscosidad cinemática. Por

lo tanto, un aceite de calidad para biodiesel debe tener un alto contenido en ácidos grasos insaturados y baja presencia de ácidos grasos saturados, alta presencia de saturación en el aceite, como la grasa animal, almacenada a temperatura ambiente tiende a solidificarse. Los ácidos grasos encontrados en el aceite de pulpa de coyol fueron el ácido oleico en un rango de 63% a 68% y el ácido palmítico en un rango de 32% a 37%, entre otros ácidos en menor proporción. Navarro-Díaz *et al.* (2014) y Lescano *et al.* (2015) reportaron una proporción de 70% de ácido oleico presentes en el aceite de pulpa de coyol. Por lo tanto, el aceite de pulpa de coyol presenta buenas características en su composición y puede ser considerada una buena alternativa para producir biodiesel.

CONCLUSIONES

Los análisis fisicoquímicos del aceite de pulpa indican que son comparables a los aceites vegetales de buena calidad como soya, moringa, colza, dado el predominio de los ácidos grasos monoinsaturados, en particular del ácido oleico. La pulpa de *A. aculeata* de las recolectas analizadas, son una excelente fuente de lípidos y con alto contenido de aceite y poseen buenas características fisicoquímicas, lo que representa su viabilidad como materia prima para la producción de biodiesel.

LITERATURA CITADA

- Akbar, E., Yaakob, Z., Kartom, K.S., Ismail, M., Salimon, J. (2009). Characteristic and Composition of *Jatropha Curcas* Oil Seed from Malaysia and its Potential as Biodiesel Feedstock Feedstock, 29 (3), 396-403.
- ASTM D7042: Standard Test Method for Dynamic Viscosity and Density of Liquids by Stabinger Viscometer (and the Calculation of Kinematic Viscosity).
- AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY. Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society. 4th ed. Champaign, USA, AOCS, 1990. [AOCS Official method Cd 8-53].
- AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY. Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society. 4th ed. Champaign, USA. A.O.C.S., 1990. [A.O.C.S. Official method Cd 3-25e].
- ASTM D7042-16e3, Standard Test Method for Dynamic Viscosity and Density of Liquids by Stabinger Viscometer (and the Calculation of Kinematic Viscosity), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, www.astm.org.
- Bockey, D. (2006). Potentials for raw materials for the production of biodiesel – an analysis. Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V., Berlin. Stand: 09/06, Union Zur Förderung Von Oelund Proteinpflanzen E.V. (UFOP). Report available <https://www.ufop.de/english/news>.
- Coimbra MC, Jorge N. (2012). Fatty acids and bioactive compounds of the pulps and kernels of Brazilian palm species, guariroba (*Syagrus oleracea*), jeriva (*Syagrus romanzoffiana*) and macauba (*Acrocomia aculeata*). J Sci Food Agric. 92:679–84.
- Darnoko, D., Cheryan, M. (2000). Kinetics of palm oil transesterification in a batch reactor. JAOCS, 77:1263–1267.
- Del Río JC, Evaristo AB, Marques G, Martín-Ramos P, Martín-Gil J, Gutiérrez A. (2016). Chemical composition and thermal behavior of the pulp and kernel oils from macauba palm (*Acrocomia aculeata*) fruit. Ind Crop Prod, 84:294-304.
- Du, W., Xu, Y.Y., Zeng, J., Liu, D.H. (2004). Novozym 435-catalysed transesterification of crude soybean oils for biodiesel production in solvent-free medium. Biotechnology and Applied Biochemistry, 40:187–190.
- Enio G. Jelihovschi, José C. Faria, and Ivan Bezerra Allaman (2014). ScottKnott: A Package for Performing the Scott-Knott Clustering Algorithm in R. Trends in Applied and Computational Mathematics 15(1), 3-17. <http://www.sbm.org.br/tema/seer/index.php/tema/article/view/646/643>.
- EN 14111, Fat and Oil Derivatives - Fatty Acid Methyl Esters (FAME) - Determination of Iodine Value - Volumetric Titration; European Committee for Standardization, Brussels, 2003.
- Evaristo AB, Grossi JAS, Pimentel LD, Goulart SM, Martins AD, Santos VL, Motoike S. (2016). Harvest and post-harvest conditions influencing macauba (*Acrocomia aculeata*) oil quality attributes. Ind Crop Prod., 85:63-73.
- Favaro SP, Tapeti CF, Heraclides C, Miranda B, Ciaconini G, M MA, Roscoe M. (2017). Macauba (*Acrocomia aculeata*) pulp oil quality is negatively affected by drying fruits at 60 °C. Brazilian Archives of Biology and Technology, 60: 1-9.
- Karmakar, A., Karmakar S., Mukherjee S. (2010). Properties of various plants and animals feedstocks for biodiesel production. Bioresource Technology, 101(19), 7201–7210. doi:10.1016/j.biortech.2010.04.079.
- Korus, R.A., Hoffman, D.S., Bam, N., 1993. Transesterification process to manufacture ethyl ester of rape oil. Proceedings of First Biomass Conference of the Americas: Energy, Environment, Agriculture and Industry, 88, 815–826.
- Lescano, CH, Oliveira IP, Silva, LR, Baldivia DS, Sanjinez-Argandoña EJ, Arruda, EJ, Moraes ICF, Lima F F. (2015). Nutrients content, characterization and oil extraction from *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Fruits. Afr J Food Sci., 9:113-119.
- Lieb VM, Schex R, Esquivel P, Jimenez VM, Schmarr HG, Carle R, Steingass C. (2019). Fatty acids and triacylglycerols in the mesocarp and kernel oils of maturing Costa Rican *Acrocomia aculeata* fruits, 14: 6-13.
- Martinez BB, Solis BJL, Zamarripa CA. (2017). Caracterización del aceite de coyol (*acrocomia mexicana* karw. ex mart.) para la producción de biodiesel en México. XIII Reunión Nacional de la Red Mexicana de Bioenergía.
- Motoike SY, Kuki KN. 2009. The potential of macaw palm (*Acrocomia aculeata*) as source of biodiesel in Brazil. IRECHE. 1(6), 632-635.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAOSTAT (2019). Base de datos del mundo de estadísticas alimentarias y agrícolas. Recuperado de <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QD/visualize>.
- R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Recuperado de <http://www.R-project.org/>

- Solís, B. J. L., Martínez, V. B. B., López, G. G. and Zamarripa, C. A. (2019). Chapter 2. Genetic Resources and Advances in the Development of New Varieties of *Jatropha curcas* L. in México. In: Sujatha, M.; Carels, N. and Bahadur, B. (Eds.). *Jatropha, challenges for a new energy crop. Volume 3: A Sustainable Multipurpose Crop*. Springer. 525 p.
- Sahar, Sana, S., Javed, I., Inam, U., Haq, N. B., Shazia, N., Habib-ur-Rehman, Jan N., Munawar, I. (2018). Biodiesel production from waste cooking oil: An efficient technique to convert waste into biodiesel. *Sustainable Cities and Society*, 41: 220 – 226.
- Shay, E.G. (1993). Diesel fuel from vegetable oils: status and opportunities. *Biomass and Bioenergy*, 4 (4), 227–242.
- Trentini, C.P., Oliveira, D.M., Zanette, C.M., Silva, C. (2016). Low-pressure solvent extraction of oil from macauba (*Acrocomia aculeata*) pulp: characterization of oil and defatted meal. *Cienc Rural*, 46(4):725-31.

