

CINÉTICA DE LA REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN DEL ACEITE DE MORINGA EN LA OBTENCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLE.

Martillo García Wendy F., López Anchundia Eduardo G, Resabala Cordova Mayra A, Briones Ponce Gema E.,
Moreira Mendoza Carlos A., Sacoto Palacios

*Universidad Técnica de Manabí, Ecuador, Av. Urbina y Che Guevara, Portoviejo
wmartillo2672@utm.edu.ec, elopez9789@utm.edu.ec, mayraresabala85@gmail.com,
gbriones9416@utm.edu.ec, carlos.moreira@utm.edu.ec, gsacoto@utm.edu.ec*

Recibido:18/09/2020

Aceptado:22/10/2020

RESUMEN

La Moringa oleifera, es una planta con innumerables propiedades nutritivas y terapéuticas, por lo cual pudiera ser considerada como uno de los alimentos que contribuyen al bienestar y a la prevención de enfermedades por sus efectos antioxidantes. Además de su valor nutritivo, las hojas son ricas en antioxidantes, entre los cuales destacan los isotiocianatos, los cuales parecen presentar propiedades anticancerígenas, hipotensoras, hipoglucemiantes y antibióticas. Las concentraciones de factores antinutritivos en las hojas, tales como inhibidores de proteasas, taninos, saponinas y lectinas, son insignificantes; su hábitat de crecimiento es el trópico (< 2000 msnm). En la planta se han cuantificado proteínas, fibra, carbohidratos, aminoácidos, vitaminas, minerales y metabolitos secundarios (carotenos y tocoferoles); lo que explica parcialmente sus usos como alimento, tratamiento de enfermedades (respiratorias, gastrointestinales, inflamatorias, cardíacas, nutricionales y cutáneas), mejorador de suelo, materia prima para la industria alimentaria, de cosméticos, obtención de biocombustibles y tratamiento de agua. Una de las partes aprovechables del árbol es la semilla debido a su contenido entre un 30 y 45 % de aceite. El presente artículo científico tiene por objetivo general describir la cinética de reacción de transesterificación del aceite de moringa en la obtención de biocombustible.

Palabras clave

Moringa Oleifera, transesterificación, biocombustible, cinetica reacción.

Summary

Moringa oleifera is a plant with innumerable nutritional and therapeutic properties, which is why it could be considered one of the foods that contribute to well-being and the prevention of diseases due to its antioxidant effects. In addition to its nutritional value, the leaves are rich in antioxidants, among which isothiocyanates stand out, which seem to have anti-cancer, hypotensive, hypoglycemic and antibiotic properties. The concentrations of antinutritive factors in the leaves, such as protease inhibitors, tannins, saponins and lectins, are negligible; its growth habitat is the tropics (<2000 masl). In the plant proteins, fiber, carbohydrates, amino acids, vitamins, minerals and secondary metabolites (carotenoids and tocopherols) have been quantified; which partially explains its uses as food, treatment of diseases (respiratory, gastrointestinal, inflammatory, heart, nutritional and skin), soil improver, raw material for the food industry, cosmetics, obtaining biofuels and water treatment. One of the usable parts of the tree is the seed due to its content between 30 and 45% of oil. The general objective of this scientific article is to describe the transesterification reaction kinetics of moringa oil in obtaining biofuel.

Keywords

Moringa Oleifera, transesterification, biofuel, reaction kinetics.

I. INTRODUCCIÓN

“El deterioro del medio ambiente es un problema mundial, ante ello, países como Alemania, Estados Unidos y Brasil han iniciado un plan de remediación ambiental con ciertos proyectos que ayuden a la madre tierra, uno de estos es la implementación de diésel orgánico extraído, de manera particular, de aceites vegetales para reemplazar al petróleo” (Molina & Vivero, 2015).

“Los biocombustibles ofrecen el potencial para mitigar el problema del cambio climático, ayudarían a diversificar la matriz energética, mejorando la balanza comercial y calidad del aire” (Dufey, 2006, p. 56). “Su producción fue parte de una estrategia competitiva dentro del mercado mundial, principalmente en Estados Unidos donde la ambición por los lucros no excedía los beneficios de la preservación ambiental porque cualquier camino efectivo que conlleve a una reducción del consumo de energía no renovable choca con la disminución de la ganancia extraordinarias” (Serna, Barrera, & Montiel, 2010, p. 113).

“El biodiesel es un biocombustible líquido que se produce a partir de la biomasa lignocelulósica obtenida de varios procesos termoquímicos” (Guerrero, Marreno, Martínez, & Puch, 2010, p. 33). En su obtención “se usan distintos procesos químicos, como la transesterificación a partir del metanol o etanol (el más utilizado); en este proceso se convierten las moléculas de grasa en ésteres” (Raffino, 2019).

Por ello, “el biodiesel derivado de aceites vegetales/animales, usadas o residuales, se presenta como alternativa al uso de combustibles fósiles debido al carácter renovable y al menor impacto ambiental; la manufactura actual se realiza con procesos de transesterificación de aceites y alcoholes ligeros con catalizadores para la transformación” (Dufour, 2009, p. 2). Este biocombustible “se degrada de 4 a 5 veces más rápido que el diésel fósil. Los vehículos que lo usan reducen las emisiones de bióxido de carbono hasta el 78% y disminuyen al 75% los hidrocarburos cancerígenos”

(Armentrout & Armentrout, 2014, p. 6).

“La moringa tiene usos medicinales, agroindustriales, forrajeros, en biocombustible y tratamiento de agua, que permiten soportar las diversas propiedades que se le atribuyen” (Velázquez, Peón, Zepeda, & Jiménez, 2016). Las semillas oleaginosas de esta planta aportan en la “producción de biodiesel, dando ciertas ventajas como el potencial aumento de zonas verdes por su rápido crecimiento y fácil reproducción, y la reteniendo más CO₂ que otros cultivos de aceite vegetal” (Vernabé, 2008).

“Una de las principales ventajas de los biocombustibles es su capacidad de ser renovables, en el caso de la moringa, es un árbol multipropósito y las buenas características fisicoquímicas de esta planta, entre ellas la estabilidad de oxidación y resistencia a la rancidez que es superior a otros aceites, como el de soya, girasol y aún el de aceite de oliva. Además, su poca presencia de ácidos grasos insaturados indica una buena calidad de aceite para la producción de biocombustibles” (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), 2017). En México se promueve la semilla de moringa como materia prima para la creación de biocombustibles.

I. MATERIALES Y MÉTODOS

Hidróxido de sodio

“El hidróxido de sodio (sosa caústica, NaOH) es un sólido blanco, translucido y delicuescente, soluble en agua y etanol, pero insoluble en éter; d. 2, 13; p.f. 318oC; p.e. 1390 oC” (Sáez, Martínez, & Julián, 2003, p. 562). Es Empleado como catalizador en la cinética de la reacción de transesterificación del aceite de moringa.

Metanol

“El metanol conocido como alcohol metílico (CH₃OH; d. 0,79; pf. -93, 9oC; 64,96oC), líquido incoloro con un fuerte olor” (Plasencia, Gualotuña, Delgado, & Paucar, 2019, p. 843). En el presente artículo científico se emplea como disolvente en

el proceso de obtención de biocombustible.

Agua destilada

“Agua purificada por destilación de manera que se eliminan las sales disueltas y otros componentes (iones e impurezas)” (Sáez, Martínez, & Julián, 2003, p. 562). Está compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, químicamente H₂O. Se utilizó en el laboratorio como reactivo químico en el proceso de transesterificación del aceite de moringa.

Aceite de Moringa

La semilla de Moringa “contiene un 40% de aceite de alta calidad, poco viscoso y dulce, con un 73% de ácido oleico; obteniéndose con este, en proceso químico con otros elementos un biodiesel de gran calidad” (Rosselló & Armitt, 2016, p. 30). “El aceite que tiene un alto contenido de ácidos grasos insaturados, es color amarillo claro con similar composición al aceite de oliva” (Bruhns, 2011, p. 28). Es conocido también como aceite de Ben.

“El aceite de moringa se puede obtener por diferentes procedimientos, como el método de prensado en frío; una vez extraído, la torta de sabor agrio remanente presenta todas las propiedades de la semilla fresca, la cual contiene un 60% de proteínas que puede usarse como fertilizante y actualmente se evalúa su uso como alimento de animales y aves de corral” (Paniagua & Chora, 2016, p. 42).

El proceso de extracción de aceite de semilla de moringa oleífera del presente artículo científico tiene fundamentos en el estudio realizado por (Espinosa, y otros, 2018). Donde las semillas se preparan para el proceso de extracción separando las cáscaras de los cotiledones (descascarado manual), ejerciendo presión sobre las semillas, posteriormente se disminuye el tamaño de partícula triturando con un mortero de laboratorio. Al ser trituradas son sometidas a un proceso de secado; la determinación se efectúa por diferencia de pesadas, utilizando una balanza analítica Sartorius BS 124S. En el secado se usa una estufa, modelo DHG-916A, por espacio de 2

horas a 55° C. De esta forma, la semilla se encuentra lista para el proceso de extracción. Para determinar la humedad se usa la ecuación:

$$H = \frac{\text{masa húmeda} - \text{masa seca}}{\text{masa seca}} (100)$$

En el proceso de extracción se emplea el extractor Soxhlet; preparadas las semillas para cada extracción, se pesa una masa de aproximadamente 10 g empleando una balanza analítica Sartorius BS 124S. La cantidad de solvente se adiciona considerando las relaciones soluto-solvente definidas en el diseño de experimentos. En el condensador se utiliza agua como refrigerante. Las temperaturas de extracción se regulan en una plancha eléctrica IKA C-MAG HP10. Para el control de temperatura se emplea un sensor de temperatura modelo Gefran 600 RR001.

La mezcla aceite-solvente se somete a un proceso de rotoevaporación en un rotoevaporador IKA-WERK (HB 4 basic) para separar el aceite del solvente. La rotoevaporación se efectúa a una temperatura de 50° C durante 10 min. Los porcentajes de extracción másico de aceite se calculan mediante la ecuación.

$$\% \text{ extracción de aceite} = \left(\frac{\text{masa aceite}}{\text{masa semilla seca}} \right) (100)$$

Para rebajar la viscosidad se somete a los aceites a un proceso de hidrólisis y de transesterificación, porque la alta viscosidad puede provocar daños en los inyectores debido al quemado rápido. “La semilla de moringa oleífera tiene un grano bastante blando, por lo tanto, el aceite se puede extraer a mano o en forma artesanal usando una prensa de rosca. Se quita la cubierta a la semilla y se pesa. Se tritura la semilla, agregando el 10% del volumen en agua y calienta lentamente sobre un fuego bajo durante 10-14 minutos; la mezcla no debe secarse demasiado porque se puede quemar la semilla (o pasta). La mezcla debe ser de 10 kl de semilla para extraer 3 litros de aceite aproximadamente” (Paniagua & Chora, 2016, p. 42).

Cinética química

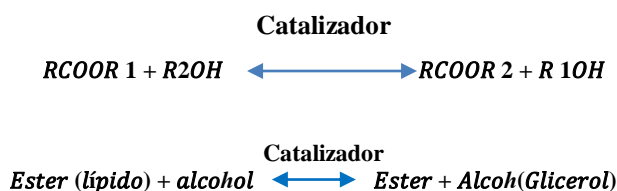
“La cinética química es el estudio de la velocidad de reacción, estimando todos los factores que influyen sobre ella y explicando la causa de la magnitud de esa velocidad de reacción” (García, Sánchez, Labrada, Lafargue, & Díaz, 2018, p. 285).

“Existen dos métodos para analizar datos cinéticos: el integral y el diferencial. En el método integral se supone una forma de ecuación cinética y, después de la apropiada integración y manipulación matemática, se predice que la representación de una función determinada de la concentración contra el tiempo debe dar una línea recta. Los datos se grafican, y si se obtiene una línea razonablemente recta, se dice que la ecuación cinética supuesta es satisfactoria” (García, Sánchez, Labrada, Lafargue, & Díaz, 2018, p. 286).

Por otra parte, “en el método diferencial de análisis se comprueba directamente el ajuste de la expresión cinética a los datos sin integración alguna; sin embargo, como esta expresión cinética es una ecuación diferencial, antes de intentar el procedimiento de ajuste es necesario calcular los valores de $(1/V)$ (dN/dt) a partir de los datos experimentales” (García, Sánchez, Labrada, Lafargue, & Díaz, 2018, p. 286).

Transesterificación

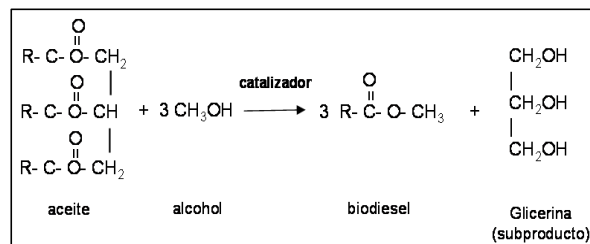
La transesterificación “es un proceso de transformación química donde un lípido, sea grasa o aceite se mezcla con un alcohol de cadena corta (metanol o etanol) y con un catalizador reacciona para producir un éster (biodiesel) y un glicerol (glicerina)” (Dufour, 2009). El proceso se representa de la siguiente manera:



Por lo tanto la representación para la elaboración del

biodiesel se describe en la siguiente figura, en la que se puede observar la reacción de la transesterificación base de la producción de biodiesel a partir de aceite.

Imagen 1. Reacción de transesterificación



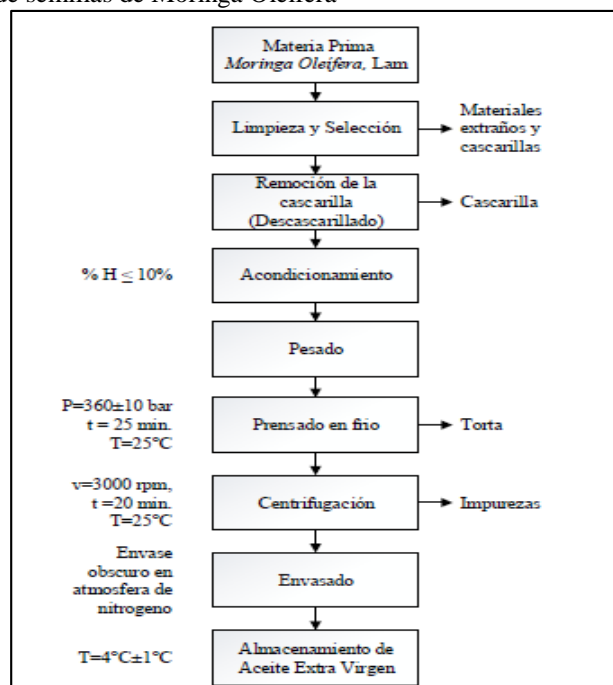
Este proceso ha demostrado ser uno de los mejores que se emplea para elaborar del biodiesel debido a sus resultados.

Catalizador

“La concentración de catalizador con mejor desempeño es de 1,5%, porque las pruebas efectuadas con este porcentaje tienen un mayor rendimiento, además de cumplir con mayor cantidad de parámetros evaluados que las pruebas que manejan una concentración de 1,0%, sin embargo, el valor óptimo en lo que a rendimiento se refiere es de 1,32% de acuerdo a la ecuación cuadrática” (Cano, 2015, p. 46).

II. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Imagen 2. Diagrama de flujo de la extracción de aceite virgen de semillas de Moringa Oleífera



Referente a resultados de estudio investigativo detallado en la imagen 1, denota que “las semillas de Moringa oleífera empleadas para la extracción de aceite virgen fueron pulverizadas en un molino de martillo con motor de 5Hp y 220 V con tamiz de 3.0 mm para reducir el tamaño de las partículas y aumentar el desprendimiento del aceite contenido; con una humedad $8.54 \pm 0.02\%$, empleando una termobalanza modelo Precisa XM50, de $\leq 10\%$ para la extracción de aceite por prensado” (Alberca & Huanca, 2015, p. 53).

“El prensado en frio a $\leq 27^{\circ}\text{C}$ en una prensa hidráulica de 2Hp, 220V trifásico, a una presión constante de 360 ± 10 bar por 25 minutos, temperatura fundamental para ser considerado como aceite virgen según Navas P., (2010). La centrifugación del aceite virgen a 3000 rpm por un tiempo de 20 minutos a 25°C en una Centrifuga Sigma modelo 2-16PK para la eliminación de material solido o impurezas (sedimento), y almacenado en recipiente de vidrio obscuro, a $4 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ” (Alberca & Huanca, 2015, p. 52).

Imagen 3. Porcentajes de extracción de aceite

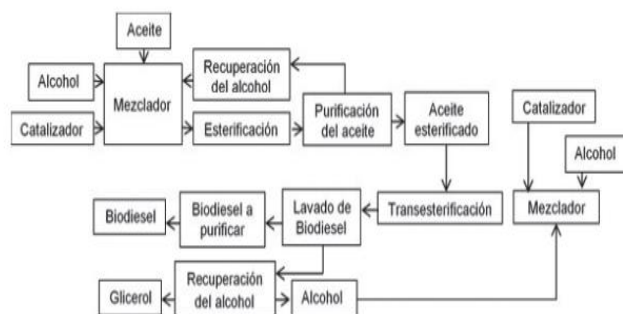
Temperatura de extracción	Relación soluto-solvente	Extracción de aceite (%)
-1,0	1,0	27,85
1,0	-1,0	16,64
-1,0	-1,0	25,81
1,0	1,0	21,81
-1,0	1,0	29,90
1,0	-1,0	14,25
-1,0	-1,0	28,98
1,0	1,0	19,91
-1,0	1,0	26,95
1,0	-1,0	16,84
-1,0	-1,0	24,87
1,0	1,0	18,01

Referente a la imagen 3 se aporta que “el solvente empleado es el etanol absoluto (temperatura de ebullición 78.15°C , gravedad específica 0.789, índice de refracción 1.361). Se demuestra que para las condiciones estudiadas la extracción de aceite de las semillas de Moringa oleifera logra un porcentaje de extracción de 29.90%; denotando que los factores temperatura de extracción y relación soluto solvente influyen significativamente en el proceso de extracción de aceite” (Espinosa, y otros, 2018, p. 35).

Tabla 2. Parámetros de calidad determinados para el aceite de Moringa Oleífera

Propiedades determinada	Aceite de Moringa
Densidad (g/cm ³)	0,908
Índice de iodo (g/g)	65,58
Indice de rancidez (meq kg ⁻¹)	1,97
Ácidos grasos libre (%)	0,50

Imagen 4. Diagrama del proceso de obtención del biodiesel

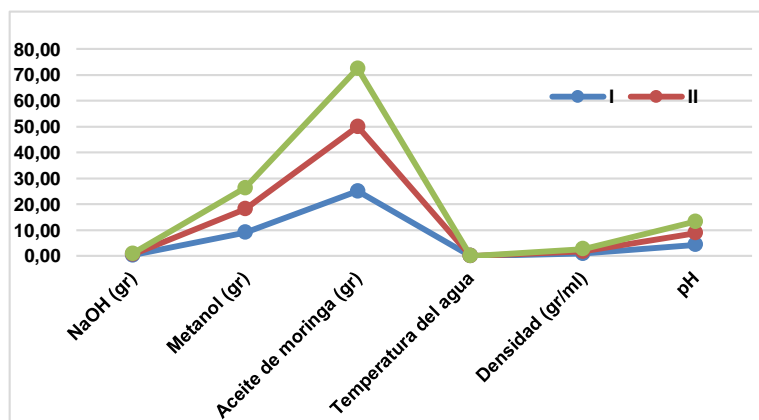


En la imagen 4, se puede observar el diagrama de proceso de obtención del biodiesel; es importante manifestar que para el proceso de transesterificación se emplea un catalizador (NaOH) y el 1% de aceite de moringa oleífera.

Tabla 3. Variables de entrada en la reacción de transesterificación

Práctica	Sustancias y reactivos			Temperatura	Densidad (gr/ml)	pH
	NaOH (gr)	Metanol (gr)	Aceite de moringa (gr)			
I	0,30	9,0475	25,00	50°C	0,890	4,31
II	0,30	9,0475	25,00	55°C	0,890	4,50
III	0,27	8,1400	22,50	55°C	0,901	4,50

Gráfico 1. Variables de entrada en la reacción de transesterificación



En la tabla 2 y gráfico 1, se observan las variables que intervinieron en la obtención del biodiesel, logrando determinar en la práctica I, una densidad de 0,890 y 4,31 pH, en un proceso de transesterificación donde se combinaron 25 gr de aceite de moringa y 9,0475 gr de metanol, empleando como catalizador de 0,30 gr de hidróxido de sodio (NaOH) a una temperatura de 50°C, durante 30 minutos a 600 RPM.

También se observa en la práctica II, densidad de 0,890 y 4,50 pH, obtenidos de la combinación de 25 gr de aceite de moringa y 9,0475 gr de metanol, empleando como catalizador de 0,30 gr de hidróxido de sodio (NaOH) a una temperatura de 55°C, , durante 30 minutos a 600 RPM.

En la práctica III, se obtuvo una densidad de 0,901 y 4,50 pH, de la combinación de 22,5 gr de aceite de moringa y 8,1400 gr de metanol, con catalizador de 0,27 gr de hidróxido de sodio (NaOH) a una temperatura de 55°C, durante 30 minutos a 600 RPM.

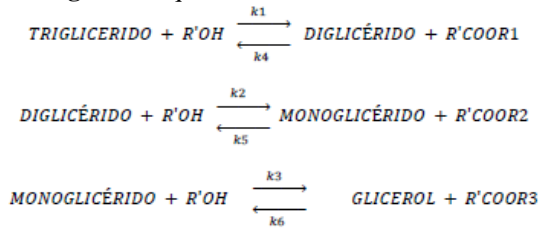
Tabla 4. Variables de entrada en la reacción de transesterificación

Ensayo	Reactivos		
	Aceite MO (ml)	Metanol (ml)	Hidróxido de Sodio (g)
1	100	40	0.4
2	150	40	0.4
3	200	80	0.4
4	250	100	0.8
5	300	140	1
6	350	140	1.4

Las cantidades determinadas en el estudio experimental de Guerrero & Kocher (2019) para la realización de la transesterificación el único parámetro que varió fue el de la temperatura para obtener las muestras, estas temperaturas fueron 50°C y 70°C respectivamente para así determinar a qué temperatura es donde hubo una mayor conversión de metil ésteres.

Según los autores antes citados, la velocidad de agitación en los experimentos efectuados tuvo que ser modificada, puesto que esta influye directamente en la obtención del producto. Para temperatura de 50 – 60°C, se aplicó una agitación media de 250 rpm. Para una temperatura de 60 - 70°C, una agitación rápida de 500 - 600 rpm. El tiempo de la reacción fue de aproximadamente 60 (min). La transesterificación consiste de un número de reacciones reversibles consecutivas. El triglicérido es convertido paso a paso a diglicérido, monoglicérido y finalmente a glicerol.

Imagen 5. Esquema de la reacción



Se puede indicar que un mol de éster es liberado a cada paso; denotando que las reacciones son reversibles, aunque el equilibrio se desplaza hacia la producción de ésteres de ácidos grasos y glicerol.

KA, KB Y KC son las constantes de equilibrio de las reacciones principales. Dónde:

$$K_A = \frac{k_4}{k_1}; K_B = \frac{k_5}{k_2}; K_C = \frac{k_6}{k_3}$$

De acuerdo con el esquema anterior, la ecuación de velocidad de reacción para la aparición de metil - esteres (biodiesel) es la siguiente.

$$\begin{aligned}
 r_{Biodiesel} = & k_1[(TG)(R'OH) - K_A(ME)(DG)] + k_2[(DG)(R'OH) \\
 & - K_B(ME)(MG)] + k_3[(MG)(R'OH) - K_C(ME)(G)]
 \end{aligned}$$

En el proceso de transesterificación se detalla el diseño experimental con sus respectivas condiciones óptimas reacción, con un rendimiento del 63.37%, que nos permitió obtener un éster metílico (biodiesel) a partir del aceite extraído de las semillas de la moringa oleífera.

Tabla 5. Propiedades de los ésteres metílicos de moringa oleífera.

Propiedades	Moringa Oleífera ésteres metílicos
Número de cetano	67,07
Viscosidad cinemática	4,83
Punto de nube	18
Punto de fluidez	17
Estabilidad oxidativa	3,61
Lubricidad (HFRR; lm)	13,5

La tabla 1, detalla restado de estudio investigativo describiendo que “el biodiesel se elaboró a partir de aceite de moringa oleífera por medio de un catalizador catalizado con álcali, transesterificación con metanol después del pre tratamiento con ácido. Combustible propiedades como el número de cetano, la viscosidad cinemática, oxidativa estabilidad y otros fueron determinados. La propiedad más destacada del biodiésel derivado del aceite de moringa es el alto cetano número de aproximadamente 67, que se encuentra entre los más altos reportados para un combustible biodiesel. Por lo tanto, el aceite de moringa es un sustituto aceptable del petrodiesel, también en comparación con los combustibles biodiesel derivados de otros vegetales aceites” (Rashid, Anwar, Moser, & Knothe, 2008, p. 8178).

III. CONCLUSIÓN

“La producción de biocombustibles a nivel mundial ha crecido exponencialmente en los últimos años, su desarrollo ha estado ligado al aumento del precio del petróleo y a la creciente concientización social desarrollada en torno al cuidado del medio ambiente. El mundo apuesta por el biodiesel como alternativa parcial a los combustibles de origen fósil dado que procede de fuentes renovables y permite reducir, de modo significativo, las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera. El costo de producción de biodiesel de moringa resulta 41% menor que el precio actual al consumidor del diésel convencional” (Rodríguez, Góngora, Reyes, & Sánchez, 2018, p. 1007).

Se establece que la moringa oleífera tiene “un alto rendimiento de aceite, es una excelente opción para la producción sostenible de biodiesel en países con tierras áridas. En un estudio de las plantas oleaginosas con potencial para producir biodiesel en África, esta especie, con un rendimiento anual de tres toneladas de aceite por hectárea, resultó la segunda más prometedora, por encima de *Jatropha curcas* y superada solo por *Croton megalocarpus*” (Kibazohi & Sangwan, 2014, p. 1353)

“El aceite de Moringa oleífera es una fuente prometedora para la producción de biodiesel; el ácido graso que predomina es el oleico entre el 67% y 78%; mientras que el número de cetano resultó la propiedad más llamativa con valores entre 62 y 67, siendo de los más elevados que se han obtenido para biodiesel. El punto de nube que tiene el biodiesel de moringa oleífera está por encima de los 10 °C” (Díaz, 2014).

IV. REFERENCIAS

- Alberca, S., & Huanca, M. (2015). Evaluación del Índice de Estabilidad Oxidativa del Aceite De Moringa (Moringa oleífera). *Rev. Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 50-69.
- ALVAREZ, M. R. (2012). PROCEDIMIENTOS PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES EN PLANTAS AROMÁTICAS. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.
- Armentrout, D., & Armentrout, P. (2014). Preguntas y respuestas más frecuentes sobre biocombustibles. México: IICA.
- Armijo, J. V. (2012). Modelamiento y simulación del proceso de extracción de aceites esenciales mediante la destilación por arrastre con vapor. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*.
- Armijo, J. V. (2012). Modelamiento y simulación del proceso de extracción de aceites esenciales mediante la destilación por arrastre con vapor. *Peru: Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*.

- Bandoni, A. (2000). Los recursos vegetales aromáticos en Latinoamérica. Argentina: Universidad Nacional de la Plata.
- Bernabé, M. (2008). Potenciales usos y delimitación del área de cultivo de moringa oleífera en argentina. Argentina: Revista virtual Redesma.
- Bruhns, E. (2011). Moringa Oleífera, el árbol maravillos del Ajurveda. Alemania: Mentalo.
- Caldas Avila, A. P. (2012). Optimización escalamiento y diseño de una planta piloto de extracción sólido líquido (Bachelor's thesis). Cuenca.
- Cano, M. (2015). Evaluación de la producción de biodiesel a partir de aceite de moringa oleífera asistido por la técnica de ultrasonido. Bogotá: Universidad libre.
- CIGEA. (28 de mayo de 2013). carga contaminante. Obtenido de carga contaminante: <https://es.slideshare.net/henrycr80/cargaorgmetodol>
- De la Rosa, L., Henríquez, E., Sánchez, E., & Ojada, K. (2015). Diseño y simulación de una planta para la producción de biodiésel a partir de Jatropha. ION, 28(1), 73-85. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3420/342039270008.pdf>
- Díaz, Y. (2014). Potencial de la moringa oleífera para la producción de biodiesel. ResearchGate, 126-141.
- Dufey, A. (2006). Producción y comercio de biocombustible y desarrollo sustentable: los dos grandes temas. Inglaterra: IIED.
- Dufour, J. (13 de 07 de 2009). Catalizador ecológico para la producción de biodiesel. Recuperado el 20 de 01 de 2020, de <http://www.madrimasd.org/blogs/energiasalternativas/2009/07/31/122559>
- Espinosa, C., Diaz, Y., Rendón, M., Fernández, E., Piloto, R., & García, T. (2018). Extracción etanólica de aceite de semilla Moringa eleífera. Investigación y ciencia, 26(74).
- Gao, M., & Liu, C.-Z. (2005). Comparison of Techniques for the Extraction of Flavonoids from Cultured Cells of Saussurea medusa Maxim. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 1461-1463. <http://doi.org/10.1007/s11274-005-6809-1>.
- García, S., Sánchez, A., Labrada, B., Lafargue, F., & Díaz, M. (Mayo-Agosto de 2018). Cinética de la reacción de transesterificación para la producción de biodiesel a partir del aceite de Jatropha curcas L., en la provincia de Manabí, Ecuador. RTQ, 38(2), 281-297. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v38n2/rtq07218.pdf>
- Geankoplis, C. J. (1998). PROCESOS DE TRANSPORTE Y OPERACIONES UNITARIAS. Mexico : COMPAÑÍA EDITORIAL CONTINENTAL, S.A. DE C.V.
- Gil, J., Belloso, G., & Bolívar, E. (25 de 11 de 2013). Obtenido de [http://www.bioline.org.br/pdf?cg13020/Evaluación de la calidad microbiológica y niveles de nitratos y nitritos en las aguas del río](http://www.bioline.org.br/pdf?cg13020/Evaluación%20de%20la%20calidad%20microbiológica%20y%20niveles%20de%20nitratos%20y%20nitritos%20en%20las%20aguas%20del%20río)
- Gómez, D., Pita, V., & Zumalacárregui, B. (2016). Caracterización de aceites de las semillas de moringa oleífera a partir de la extracción por diferentes métodos. Revista colombiana de biotecnología, 106-111.
- Gómez, M., González, B., & Gutiérrez, A. (2011). Obtenido de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/amv/v43n1/art05.pdf>
- González, J. (2011). La energía del futuro viene de los bosques. Especies Forestales Oleaginosas Adaptables al Secano para la Producción de Biodiésel. México: Universidad Católica de Maule.
- González-Montelongo, R., Lobo, G., & González, M. (2010). Antioxidant activity in banana peel extracts: Testing extraction conditions and related bioactive compounds. Food Chemistry, 119(3): 1030-39.
- Greenfield, H., & Southgate, D. (2003). Datos de composición de alimentos: obtención, gestión y utilización. Roma: Infoods.
- Guarnizo, A., & Martínez, P. (2009). Experimentos de Química Orgánica con enfoque en ciencias de la vida. Armenia: Elizcom.
- Guerrero, B., & Kocher, K. (2019). Obtención de éster metílico (biodiesel), mediante la reacción de transesterificación del aceite de moringa oleífera. Ecuador: Universidad de Guayaquil.
- Guerrero, R., Marreno, G., Martínez, J., & Puch, L. (2010). Biocombustibles líquidos: situación actual y oportunidades de futuro para España. Madrid: Fundación ideas.

- Henry. (28 de 05 de 2013). Obtenido de <https://es.slideshare.net/henrycr80/cargaorgmetodol>
- Hernandez, L., & Vip, P. (2009). El plátano: Un cultivo tradicional con importancia nutricional. *Colegio de Farmacéuticos Del Estado Mérida.*, II(13):11–14.
- Hernández, V. L. (2005). Comparación de la calidad del aceite esencial crudo de citronela (*Cymbopogon winteriana* jowitt) en función de la concentración de geraniol obtenido por medio de extracción por arrastre con vapor y maceración. *Guatemala, Republica de Guatemala.*
- ICARITO, Ciencias Naturales, Estructura y función de los seres vivos. (s.f.). Obtenido de ¿Cómo se fabrica el café instantáneo?: <http://www.icarito.cl/2010/04/21-9025-9-2-el-cafe.shtml/>
- INEN. (2011). Obtenido de <https://archive.org/details/ec.nte.1108.2011/page/n3>
- INEN0983. (1981). Obtenido de https://archive.org/stream/ec.nte.0983.1984/ec.nte.0983.1984_djvu.txt
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). (17 de abril de 2017). Gobierno de México. Obtenido de <https://www.gob.mx/inifap/prensa/el-inifap-promueve-la-semilla-de-moringa-como-materia-prima-para-la-creacion-de-biocombustibles>
- Kibazohi, O., & Sangwan, R. (2014). Potencial de producción de aceite vegetal de *Jatropha curcas*, *Croton megalocarpus*, *Aleurites moluccana*, *Moringa oleifera* y *Pachira glabra*: Evaluación de los recursos de energía renovable para la producción de bioenergía en África. *Agris*, 35, 1352-1356. Obtenido de <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201400034955>
- Klages, D. F. (1968). *Tratado de Química orgánica*. Zaragoza-España : REVERTÉ S.A. .
- Larrea, N. (2010). Obtenido de <https://distrisolucionesmc.com/2018/08/15/problemas-del-agua-potable-el-hierro-y-el-manganeso/>
- Lescot, T. (2008). La diversité génétique des bananiers en chiffres. *Les Dossiers de Fruitrop*, 155: 29-33.
- Lobato, A. R., Maldonado, F., Pérez, O. A., & Martir, E.-H. S. (2001). Cinética y Extracción de Colorantes Naturales. In *Xvi Congreso Latino-Americano De Química Têxtil*. Retrieved from .
- Lopez, G. B., & Montaña, F. J. (2014). Propiedades funcionales del plátano (*Musa sp*). *Journal Article*, 22-26
<http://www.medigraphic.com/pdfs/veracruzana/muv-2014/muv142d.pdf>.
- Madigan. (2006). Obtenido de http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Analisis_Agua_NMP_22309.pdf
- Madrid, V. (2001). *Nuevo manual de industrias alimentarias tercera edicion*. MADRID: AMV.
- Mane, S., Bremner, D. H., Tziboula-Clarke, A., & Lemos, M. A. (2015). Effect of ultrasound on the extraction of total anthocyanins from Purple Majesty potato. *Ultrasonics Sonochemistry*, 27, 509–514.
<http://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.06.021>.
- MARD, (. d. (2006). *Encuesta nacional agropecuaria*. Corporacion Colombiana Internacional .
- Martínez, A. (1996). *Aceites esenciales*.
- Ministerio de Agricultura y Pesca, A. y. (2017). *Aguas superficiales*. Obtenido de *Aguas superficiales*: <http://www.mapama.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/aguas-superficiales/>
- Ministerio para la Transicion Ecologica. (31 de 05 de 2016). Obtenido de <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/aguas-superficiales/>
- Molina, A., & Vivero, C. (2015). Producción de biodiesel a base de aceite de *Moringa Oleífera* (árbol de la vida), para la exportación a Perú con propuesta de remediación . Quito: ESPE.
- Moreno, J. L. (2010). Modelación y optimización del proceso de extracción de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*). Trujillo,Peru.

