

Extracción etanólica de aceite de semillas de *Moringa oleífera*

***Moringa oleifera* oil extraction by use of ethanol**

Claudia Espinosa Acosta^{1,*}

¹Facultad de Ingeniería Química. Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” (CUJAE). Calle 114 No 11901 entre 119 y 127, Marianao, La Habana, Cuba.

*Correspondencia: renia@tesla.cujae.edu.cu

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento/No Comercial 4.0 Internacional](#)



Resumen

La *Moringa oleífera* es una especie muy versátil, altamente valorada a nivel mundial por las propiedades que posee. Esta planta se utiliza como materia prima en diferentes industrias, fundamentalmente en la química. Es una de las especies vegetales con mayor contenido de aceite pues sus semillas contienen entre un 30 y 45%, lo que la convierte en un importante recurso para obtener diversos productos. En el presente trabajo se desarrolló la extracción de aceite de semillas de *Moringa oleífera*, variedad Criolla utilizando etanol como solvente. Los porcentajes de extracción de aceite obtenidos por el método Soxhlet fluctuaron entre 5 y 30% aproximadamente, dependiendo de las condiciones establecidas en la fase experimental. Se propuso un diseño factorial 2², donde se estableció el porcentaje de extracción de aceite como variable respuesta, y la concentración de solvente junto a la relación soluto - solvente como variables independientes. El análisis estadístico permitió obtener un modelo con un coeficiente de determinación R-Cuadrado de 99,02%. Los factores en estudio influyeron significativamente en el porcentaje de extracción de aceite, así como su interacción. Se demostró el predominio del ácido oleico (71,7%) y la presencia de ácido behénico (6,0%) en dicho aceite. Se determinó la reología del aceite, obteniendo una viscosidad constante promedio de $38,10 \pm 0,1$ mPa·s, que permitió clasificar el aceite como un fluido newtoniano. El costo de la extracción de un litro de aceite de *Moringa oleifera* fue de 48,80 CUP. Teniendo en cuenta la recuperación del solvente el costo fue de 46,95 CUP.

Palabras clave: extracción, etanol, aceite vegetal, *Moringa oleifera*

Abstract

The *Moringa oleifera* is a very versatile species, highly valued worldwide due to its properties. This plant is used as raw material in different industries, mainly in chemistry industry. It is one of the vegetable species with the highest oil content because its seeds contain between 30 and 45%, which makes it an important resource for obtaining various products. In the present work was developed the oil extraction of *Moringa oleifera*, Criolla variety using ethanol as solvent. The percentages of oil extraction obtained by Soxhlet method are between 5 and 30% approximately, depending on the conditions established in the experimental phase. A factorial design 2² was proposed, where the percentage of oil extraction was established as variable response, and the solvent concentration with the solute - solvent ratio as independent variables. The statistical analysis allowed obtaining a model with a R-Square determination coefficient of 99.02%. The factors studied had a significant influence in the percentage of oil extraction, as well as their interaction. The predominance of oleic acid (71.7%) and the presence of behenic acid (6.0%) in the oil were demonstrated. The oil rheology was determined, obtaining an

average constant viscosity of 38.10 ± 0.1 mPa·s, which allowed the oil to be classified as a Newtonian fluid. The cost of extracting one liter of *Moringa oleifera* oil was 48.80 CUP. The cost with the solvent recovery was 46.95 CUP.

Keywords: extraction, ethanol, vegetable oil, *Moringa oleifera*

1. Introducción

Los problemas económicos, sociales y de salud relacionados con las alteraciones e impactos negativos del medio ambiente han generado la necesidad y obligación de desarrollar nuevas formas de energía, alternativas y renovables. El empleo de recursos renovables, genera una amplia gama de beneficios al constituir una tendencia y alternativa ecológica que permite reducir la demanda de recursos no renovables, favoreciendo la no contaminación del medio ambiente. La *Moringa oleifera* es catalogada como un árbol que ofrece una gran versatilidad debido a las diferentes propiedades que posee. Una de las partes aprovechables de esta planta es la semilla, la cual presenta un elevado contenido de aceite (30-45%). El aceite de semillas de *Moringa oleifera* tiene un alto valor económico para el desarrollo de diferentes industrias, pues es empleado en la elaboración de cosméticos, productos biofarmacéuticos y actualmente en la obtención de biocombustible. Además el residuo de la extracción de aceite puede utilizarse para tratamiento de aguas, alimentación animal y como fertilizante. En Cuba se ha desarrollado un programa nacional de la siembra del cultivo de la *Moringa oleifera*. La dirección de la agricultura ha tomado interés en diseminar y emplear esta especie, estableciéndola como recurso de primer orden para asegurar la alimentación humana y animal. Teniendo en cuenta las potencialidades que tienen las semillas y la suficiente disponibilidad de las mismas, que de no ser utilizadas se convertirían en un producto de desecho, desde el año 2013 en el país se comenzó a investigar el proceso de extracción de aceite.

Los procesos productivos empleados actualmente para la obtención de aceites vegetales implican fuertes agresiones al medioambiente, fundamentalmente dadas por la emisión de solventes orgánicos a la atmósfera, siendo el más empleado en esta industria el hexano, reconocido contaminante atmosférico. Con el fin de satisfacer la creciente demanda mundial de aceites vegetales para aplicaciones domésticas e industriales, se vuelve imperativo la búsqueda de solventes alternativos al hexano que se encuentren disponibles en el país, a un costo de adquisición relativamente más barato y que garanticen una menor contaminación.

La *Moringa oleifera* es una especie versátil, conocida en Cuba como tilo americano, moringa, tila y palo de jeringa; y en otros países como marango, ben, acacia y jazmín francés [1]. Esta planta ha cobrado gran interés debido a sus cualidades nutricionales y energéticas, por lo que se ha posicionado como una alternativa de producción en varias regiones del mundo como Asia y África [2]. Su origen se atribuye a la zona del sur del Himalaya y del noroeste de la India, Pakistán, Bangladesh y Afganistán; de ahí se extendió a las zonas tropicales y subtropicales del planeta Tierra: Asia del Sur, Sudoeste asiático, China, Indonesia, África, Madagascar, México, América Central y América del Sur [3, 4].

La moringa es el único género de la familia Moringaceae, un grupo pequeño de plantas dentro del inmenso orden Brassicales [5, 6]. Este género comprende de 13 especies de moringa que abarcan una gama diversa de hábitos o forma de crecimientos [7, 8]. De estas especies la *Moringa oleífera* es la más ampliamente conocida.

De las semillas del árbol de *Moringa oleífera* es posible obtener un aceite de excelente calidad y conservación. El aceite extraído a estas semillas es de color amarillo intenso, poco viscoso, siendo empleado en preparaciones y bálsamos para la piel. Es un complemento poderosamente eficaz para combatir el colesterol debido a que su estructura ofrece una enorme cantidad de ácidos grasos, tocoferoles y vitamina E. Debido a su alto contenido de ácidos grasos, principalmente el ácido oleico, posee un gran potencial en la producción de biodiesel. En la industria cosmética y farmacéutica se utiliza como materia prima que funciona como vehículo de los principios activos y además como emoliente, aromatizante o saborizante, así como para la fabricación de jabones. También se utiliza como lubricante en la industria de maquinarias finas, además de ser utilizado en la de pinturas para textiles. La torta residual producto del proceso de extracción de aceite es útil en la industria de pulpas y jugos, para flocular y sedimentar fibras, y en la industria cervecera para la sedimentación de levaduras. Además se emplea como acondicionador del suelo y fertilizante [9-12].

Se estima que una hectárea de moringa puede producir 1 000-1 700 L/año de aceite. Este valor depende del rendimiento anual de semilla por planta y la densidad de cultivo [13]. A partir del rendimiento estimado de aceite para una hectárea se puede comparar la *Moringa oleífera* con otras oleaginosas en cuanto a la producción de aceite.

La extracción de muestras sólidas con solventes, generalmente conocida como extracción sólido-líquido o lixiviación, es un método muy utilizado en la separación de compuestos antioxidantes a partir de residuos sólidos. Estos residuos requieren la extracción con solventes convencionales y la posterior eliminación del solvente para obtener un extracto concentrado. Los solventes más habituales son agua acidificada, etanol, metanol, isopropanol, hexano, ciclohexano, tolueno, xileno, ligroína, éter etílico, éter isopropílico, éter del petróleo, acetato de etilo, acetona, cloroformo; no se usan clorados ni benceno por su peligrosidad a la salud. A nivel analítico se emplean diversas técnicas, siendo la más usada tradicionalmente la extracción en Soxhlet. El extractor Soxhlet consta de un condensador combinado con un extractor con sifón, y a este sistema se le conecta en la parte inferior un balón. Técnicamente, es una operación de transferencia de masa, donde un disolvente o mezcla de estos, extraen selectivamente uno o varios solutos que se hallan dentro de una matriz sólida. Actualmente hay un incremento en la demanda de nuevas técnicas de extracción con tiempos cortos, reduciendo el consumo de solventes orgánicos y la contaminación, ejemplos: extracción asistida por ultrasonidos, por microondas, acelerada con solventes y la extracción con fluidos supercríticos.

El objetivo del presente trabajo es determinar las condiciones de operación del proceso de extracción del aceite contenido en las semillas de *Moringa oleífera* de origen cubano, utilizando etanol como solvente.

2. Materiales y Métodos

Las semillas de *Moringa oleifera* variedad Criolla constituyen la materia prima principal de la presente investigación. Las mismas son suministradas por el Banco de Germinación, donde se clasifican las semillas de moringa en cuanto a criterios de germinación. Se utiliza etanol como solvente en el proceso de extracción.

Las semillas se preparan antes del proceso de extracción. Primeramente se realiza un descascarado manual con el objetivo de eliminar la cáscara que recubre los cotiledones. Esto se logra presionando las semillas sobre un objeto plano (mesa), ejerciendo presión sobre las mismas con las manos. Luego de esta operación se disminuye el tamaño a los cotiledones triturando con un mortero de laboratorio. Esta disminución del tamaño de partícula se realiza para incrementar el área de contacto semilla-solvente, favoreciendo la difusión de dicho solvente a través de la matriz sólida durante el proceso de extracción.

Cuando se dispone de las semillas trituradas se realiza un proceso de secado. Con esta operación se pretende eliminar humedad para favorecer el proceso de extracción. El contenido de humedad se determina por diferencia de pesadas, es decir, se pesan las semillas antes y después de finalizado el proceso de secado; para llevar a cabo esta operación se utiliza una balanza analítica modelo SARTORIUS BS 124S. Para el secado se emplea una estufa modelo DHG-916^a, por espacio de dos horas a una temperatura de 55°C. Se debe evitar sobrepasar la temperatura antes mencionada, ya que un incremento de la misma puede producir una desnaturalización de las proteínas de las semillas, lo cual elimina la posibilidad de aprovechar la torta residual como alimento para animales y como coagulante en el tratamiento de aguas residuales. Transcurrido el tiempo de secado las semillas se encuentran listas para el proceso de extracción.

La extracción se desarrolla a escala de laboratorio empleando el extractor Soxhlet. Preparadas las semillas para cada extracción, se pesan y son colocadas en un papel de filtro, el cual se prepara en forma de cartucho, empleándose como alternativa de sustitución del dedal. Estos cartuchos son introducidos en el Soxhlet, evitando la salida de la masa de semillas contenida en dicho papel. La masa de semillas empleadas para cada extracción es de aproximadamente 10 g. Luego se adiciona el etanol al balón evaporador teniendo en cuenta las relaciones soluto-solvente definidas en el diseño de experimentos. En todos los casos la cantidad de solvente a utilizar es superior al valor mínimo del mismo, determinado como 1,3 veces el volumen del sifón del Soxhlet de trabajo, que es de 30 mL, evitando así que el aceite se queme. El Soxhlet tiene acoplado en la parte superior un condensador que utiliza agua como refrigerante. Para cada extracción se considera un tiempo de extracción constante de seis horas teniendo en cuenta resultados obtenidos en investigaciones precedentes [14]. El suministro de energía para el calentamiento del solvente es proporcionado por una plancha eléctrica modelo IKA C-MAG HP7. La temperatura de extracción se encuentra en el intervalo de 65-70°C, para controlar dicha temperatura se emplea un sensor de temperatura modelo Gefran 600 RR001. Para separar el aceite extraído del solvente, la mezcla obtenida se somete a un proceso de destilación en el rotovaporador (IKA RV-05basic). La rotovaporación se efectúa a una temperatura de 50°C durante 10 min. Al culminar este proceso se obtiene la masa de aceite para la posterior estimación del porcentaje de extracción.

Para el diseño de experimento se trabaja con el programa estadístico Statgraphics Centurión, versión XV. Se propuso un diseño experimental factorial 2^2 , teniendo en cuenta dos factores a dos niveles. Los factores considerados son la relación soluto-solvente y la concentración del solvente. Los niveles de estudios son para la relación soluto-solvente 1:4 y 1:6, siendo relaciones peso-volumen, es decir, masa de semilla por volumen de solvente. La concentración de solvente a utilizar es del 95 y 99%. En el diseño experimental se establece como variable dependiente el porcentaje de extracción de aceite. Para cada experimento se hacen dos réplicas, para un total de 12 experimentos.

Se realiza además un diseño de experimento comparativo para la extracción con éter del petróleo, hexano y etanol. En este diseño se evalúan de conjunto los resultados de la presente investigación y los obtenidos en investigaciones precedentes. La comparación se puede llevar a cabo porque en ambos trabajos se establecen las mismas condiciones de operación, modificándose solamente los solventes. Se propone un diseño experimental multinivel factorial $2^1 \cdot 3^1$, teniendo en cuenta un factor a dos niveles y un factor a tres niveles. Los factores considerados son la relación soluto-solvente y el tipo de solvente. Los niveles de estudio son para la relación soluto-solvente 1:4 y 1:6. Los solventes a utilizar son éter del petróleo.

El comportamiento reológico del aceite de *Moringa oleifera* variedad Criolla se evalúa mediante la viscosidad dinámica utilizando un reómetro Antón Paar Physica modelo MCR-301 con sistema de calefacción Peltier. El experimento se lleva a cabo en un rango de velocidad de corte de 0,001-1000 s⁻¹ y a una temperatura de 40°C. Los datos se obtienen del software Rheoplus (Versión 3.21).

3. Resultados y Discusión

Antes de comenzar el proceso de extracción se someten las semillas de *Moringa oleifera* variedad Criolla a un secado previo para eliminar la humedad existente en las mismas. Se fija una masa seca de 14,3768 g que se emplea como base para los cálculos del porcentaje de humedad. Con los resultados obtenidos se conforma la curva de secado que se muestra en la Figura 1, la cual describe la variación del porcentaje de humedad con respecto al tiempo de secado.

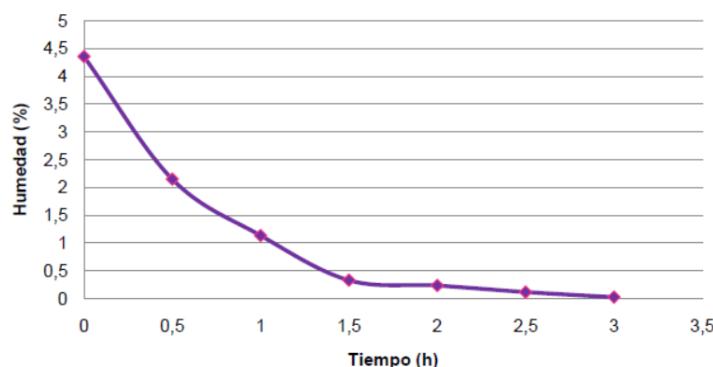


Fig.1 Curva de secado para las semillas de *Moringa oleifera* variedad Criolla

Con el propósito de establecer una comparación entre el comportamiento del proceso de secado de las semillas de *Moringa oleífera* variedad Criolla, con las variedades cubanas Plain y Supergenius, en la Figura 2 se muestran las curvas de secado de dichas variedades. Se debe tener en cuenta que el proceso de secado se realiza a iguales condiciones de operación (55°C). Se observa que la humedad inicial de la variedad Criolla es 4,36%, valor que presenta similitud con el obtenido para las variedades Plain y Supergenius, 3,78 y 4,61% respectivamente. Anwar y Bhanger [15] extrajeron aceite de semillas de *Moringa oleífera* cultivadas en doce ciudades de Pakistán. Las mismas fueron colectadas durante los meses de julio y agosto. La humedad determinada a estas semillas evidenció un valor promedio de $5,70 \pm 0,42$. Igualmente Ortiz et al. [16] reportan para semillas de la Península de Yucatán una humedad de 5,84%. Si se realiza una comparación con los resultados obtenidos en esta investigación, la humedad en las semillas de *Moringa oleífera* variedad Criolla está en correspondencia con los valores de las distintas variedades anteriormente mencionados. Aunque no se reportan las condiciones a las que se determina la humedad en las variedades citadas, las diferencias pueden estar relacionadas con la calidad de las semillas, desde su cosecha hasta el almacenamiento.

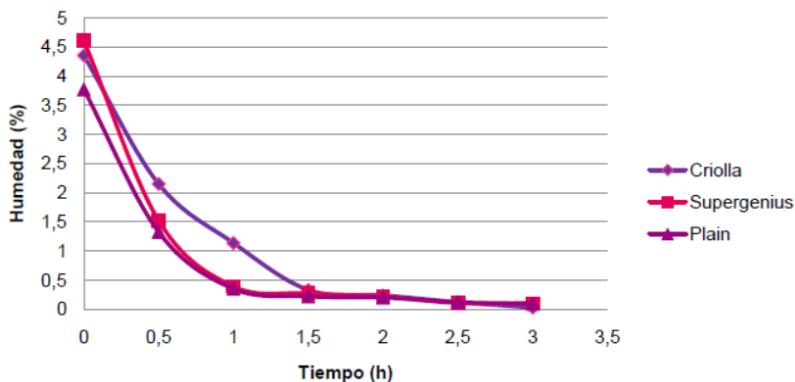


Fig.2 Curva de secado para las variedades cubanas Criolla, Supergenius y Plain

Los porcentajes de extracción oscilan entre 5 y 30% aproximadamente. Los valores más elevados ($28,23\% \pm 1,51$) se alcanzan para relación 1:6 y concentración de 99%. Ortiz et al. [16] reportan para semillas de *Moringa oleífera* provenientes de la Península de Yucatán un porcentaje de extracción promedio con etanol de 25%. Abdulkareem [17] extrae aceite de semillas de *Moringa oleífera* provenientes de diversas regiones de Nigeria y obtiene como resultado un porcentaje de extracción promedio de 20,12% también con etanol. Los resultados alcanzados en este trabajo cuando se utiliza etanol reactivo (99%) son ligeramente superiores a los reportados anteriormente.

El diseño experimental que se propone es un diseño factorial 2^2 con dos réplicas para un total de 12 experimentos, y su procesamiento permite la obtención de un modelo que explica el comportamiento de la extracción de aceite de las semillas de *Moringa oleífera* variedad Criolla, teniendo en cuenta las condiciones experimentales estudiadas. El modelo que se obtiene para valores codificados se representa por la ecuación 1

$$P=19,0058+1,7425A+8,3875B-0,9025AB \quad (1)$$

Donde: P: porcentaje de extracción (%) A: relación soluto-solvente (g/mL) B: concentración de solvente (% mísico) AB: interacción entre la relación soluto-solvente y concentración de solvente. El estadístico R^2 indica que el modelo, así ajustado, explica el 99,02% de la variabilidad en el porcentaje de extracción. En este caso los factores relación soluto-solvente, concentración de solvente y su interacción tienen un valor-P menor que 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95%. Los dos factores y su interacción para los niveles establecidos en el estudio han incidido en la variable respuesta de manera positiva. El diagrama de Pareto (Figura 3) concuerda y expone tal comportamiento.

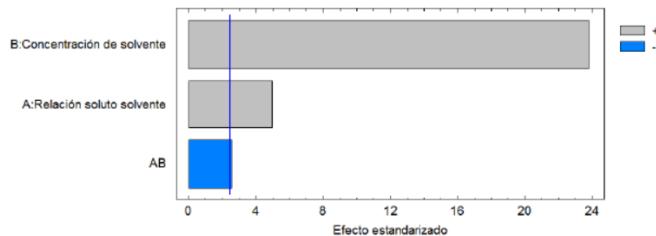


Fig.3 Diagrama de Pareto estandarizado

A partir del análisis de varianza para la variable respuesta porcentaje de extracción de aceite se obtiene el valor del coeficiente Durbin-Watson. Este estadístico permite comprobar si existe independencia de los errores pues este es uno de los requerimientos para la aplicación del método de los mínimos cuadrados. Los valores límites para este parámetro se encuentran entre 0 y 4, mientras más cercano a cero se denomina correlación negativa donde la disminución de la variable provoca una disminución de los errores y para el caso de valores cercanos a 4 es una correlación positiva donde en la medida que aumenta la variable aumenta los errores. El estadio deseado es un valor en el entorno de 2 y esto ocurre cuando la probabilidad es mayor que 0,05. En el diseño tiene un valor de 2,3280 asociado a una probabilidad valor-p de 0,5212. De esta manera se puede afirmar que no existe correlación alguna en los errores o lo que es equivalente, hay independencia entre los mismos.

Se puede concluir que para el aceite de *Moringa oleífera* de la variedad Criolla que se emplea en el proceso de extracción existe una correspondencia total en cuanto a que el ácido graso monoinsaturado oleico es el predominante. Sin embargo, los valores presentan unas ligeras diferencias, las cuales pueden estar atribuidas a la diferencia entre las variedades y a la influencia de las condiciones climáticas y de cultivo para las variedades extranjeras. El alto contenido de este ácido graso hace que el perfil de composición de ácidos grasos del aceite de *Moringa oleífera* sea similar al del aceite de oliva. Esta similitud entre ambos aceites no se refiere únicamente al ácido oleico, sino que también existe correspondencia con la composición del ácido palmítico y linoleico.

La viscosidad determinada al aceite de *Moringa oleífera* es de $38,10 \pm 0,10$ mPa·s. Este resultado concuerda con los reportados para muestras colectadas en Pakistán [15]. El comportamiento reológico del aceite se presenta en la Figura 4. A partir de la curva de fluidez se puede observar una relación lineal entre el esfuerzo de corte y la velocidad de corte. La línea recta indica que la viscosidad de este aceite a 40°C es independiente de la velocidad de corte y, por tanto, típico de un comportamiento newtoniano. Además, la independencia de la viscosidad sobre la velocidad de corte mostrada en la curva de viscosidad confirma tal comportamiento. Este resultado concuerda con lo reportado en la literatura [18].

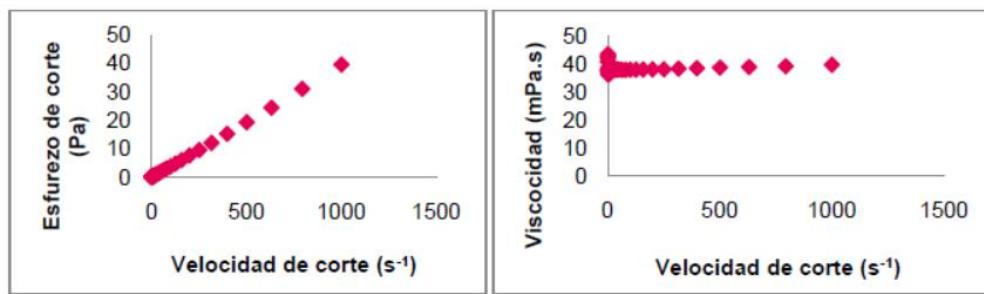


Fig.4 Curvas de fluidez y de viscosidad

Dado el limitado alcance del presente manuscrito, parte de los resultados expuestos pueden ser profundizados y comparados en más recientes publicaciones complementarias del presente trabajo o relativas al tema [20-25].

4. Conclusiones

Se logró extraer aceite de *Moringa oleífera*, alcanzándose porcentajes de extracción entre 5 y 30%. La mejor condición de operación se obtuvo con etanol al 99% y relación soluto-solvente 1:6. La curva de secado evidenció que para un tiempo de secado de dos horas a 55°C, la humedad en base seca contenida en las semillas de *Moringa oleífera* fue de 0,23%. El ácido graso predominante en el aceite de *Moringa oleífera* fue el oleico (71,7%). Además el estudio reológico permitió clasificar el aceite como un fluido newtoniano. El costo estimado para la extracción de un litro de aceite fue de 48,80 CUP.

Referencias

1. Toral, O., Cerezo, Y., Reino, J., Santana, H., *Caracterización morfológica de ocho procedencias de Moringa oleifera (Lam) en condiciones de vivero*. Pastos y Forrajes, 2013. **36**(4): p. 409-416.
2. Zamarripa, A., Martínez, B.B., Solis, J.L., *Calidad agroindustrial del aceite de semillas de Moringa oleifera*. Tuxtla Chico, Chiapas. México: INIFAP, 2013 Contract No. 16.
3. Kraus, A., *Moringa, Folleto Informativo*, 2014. www.MoringaGarden.eu
4. Sánchez-Peña, Y.A., Martínez-Ávila, G.C., Sinagawa-García, S.R., Vázquez-Rodríguez, J.A., *Moringa Oleifera; Importancia, Funcionalidad y Estudios Involucrados*. Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila, 2013. **5**(9): p. 25-30.
5. Olson, M.E., Fahey, J.W., *Moringa oleifera: un árbol multiusos para las zonas tropicales secas*. Revista mexicana de biodiversidad, 2011. **82**: p. 1071-1082.
6. Group TAP, *An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the order and families of flowerin plant AGP 3*. Botanical Journal of the Linnean Society, 2009. **161**: p. 105-121.
7. Díaz-Domínguez, Y., Tabio, D., Rondón, M., Fernández, E., Muñoz, S., Ameneiros, J.M., Piloto-Rodríguez, R., *Extraction and characterization of Moringa oleifera Lam var. Supergenius seed oil from Cuba*. Revista CENIC Ciencias Químicas, 2017. **48**: p. 17-26.
8. Ramírez, A.A.M., Vásquez, D.R., *Elaboración de bebida refrescante y nutritiva a base de Stevia (Stevia rebaudiana) y Moringa (Moringa oleifera) como una alternativa para la agroindustria de El Salvador*. Tesis de Ingeniería agroindustrial. Antiguo Cuscatlán, La Libertad: Universidad “Dr. José Matías Delgado”, 2014.

9. García, A.G., Martínez, R.K.M., Rodríguez, I.A., *Evaluación de los usos potenciales del Teberinto (Moringa oleífera) como generador de materia prima para la Industria Química*. Tesis de Ingeniero Químico. San Salvador: Universidad del Salvador, 2013.
10. Godino, M., Vázquez, T., Izquierdo, M.I., Pérez, C., *Estudio de la incidencia de los factores ecológicos abióticos (temperatura y humedad) en la germinación y desarrollo de la Moringa oleifera Lam*. Forestales SEdC. 6to Congreso Forestal Español, 2013.
11. Villarreal, A., Ortega, K.J., *Revisión de las características y usos de la planta Moringa oleífera*. Investigación & Desarrollo, 2014. **22**(2): p. 309-30.
12. Colectivo de Autores, *Biocombustibles para su uso en motores diesel*, 2014. IDICT. ISBN: 978-959-234-095-4.
13. Fondo Sectorial de Investigación en Materias Agrícola, Pecuaria, Acuacultura, Agrobiotecnología y Recursos Fitogenéticos, 2011. www.conacyt.gob.mx
14. Tabio, D., Díaz, Y., Rondón, M., Fernández, E., Piloto-Rodríguez, R., *Extracción de aceites de origen vegetal*. Universidad Tecnológica de La Habana, 2017.
15. Anwar, F., Bhanger, M.I., *Analytical Characterization of Moringa oleifera Seed Oil Grown in Temperate Regions of Pakistan*. Agricultural and Food Chemistry, 2003. **51**(22): p. 6558-6563.
16. Ortiz, J., Navarrete, A., Sacramento-Rivero, J.C., Rubio-Atoche, C., Acereto, P., Rocha-Uribe, J.A., *Extraction and Characterization of Oil from Moringa oleifera Using Supercritical CO₂ and Traditional Solvents*. American Journal of Analytical Chemistry, 2012. **3**: 946-949.
17. Abdulkareem, A.S., Afolabi, H.U., Awenebe, O.L., *Extraction and Optimization of Oil from Moringa Oleifera Seed as an Alternative Feedstock for the Production of Biodiesel*. Sustainable Growth and Applications in Renewable Energy Sources, 2011: p. 243-268.
18. Gomes, S.H., *Extração enzimática de óleo e produção in situ de biodiesel a partir da Moringa oleifera Lam*. Tesis de maestro en Ingeniería Química. Ciudad de Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2013.
19. Díaz, Y., Tabio, D., Goyos, L., Fernández, E., Piloto-Rodríguez, R., *Extraction and characterization of oil from Moringa oleifera for energy purposes*. Wulffenia Journal, 2017. **24**(5): p. 86-103.
20. Marrero, D., González, V., *Composición de ácidos grasos del aceite de las semillas de Moringa oleifera que crece en La Habana, Cuba*. Revista Cubana Medicinales, 2014. **19**: p. 197-204.
21. Rashid, U., Anwar, F., Moser, B.R., Knothe, G., *Moringa oleifera oil: A possible source of biodiesel*, 2008. **99**: p. 8175-8179.
22. Colectivo de Autores, *Biodiesel. Producción y Uso*, Editorial Pastos y Forrajes, 2021. ISBN: 978-959-7138-48-8.
23. Diaz, Y., Tabio, D., Goyos, L., Fernandez, E., Rondon, E., Fischer, T., Piloto-Rodriguez, R., *Rheological behavior and properties of biodiesel and vegetable oil from Moringa oleifera Lam*. Afinidad. Revista de Química Teórica y Aplicada, 2019. **587**: p. 83-90.
24. Tabio, D., Espinosa, C., Diaz, Y., Rondon, M., Fernández, E., Piloto-Rodriguez, R., *Extracción etanólica de aceite de semillas de Moringa oleifera*. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, 2018. **74**: p. 32-38.
25. Colectivo de Autores, *Biodiesel. Producción y Uso*. Editorial Pastos y Forrajes, 2021. ISBN: 978-959-7138-48-8.