



UNIVERSIDAD DE
CÓRDOBA



RFCB

Revista
Facultad de
Ciencias Básicas

Vol 2 No. 1- Edición digital ISSN: 2805-7821



Website: unijordoba.edu.co/index.php/revista-facultad-de-ciencias-basicas/ Email: revistafbasicas@correo.edu.co

Physicochemical study of the oil extracted from the seed of the rubber tree

Estudio fisicoquímico del aceite extraído de la semilla del árbol de caucho

Amelia A. Espitia A.¹, Jennifer J. Lafont M², y Tania M. Ángel G³.

¹Universidad de Córdoba –Colombia, Facultad de Ciencias Básicas, Departamento de Química. E-mail: ameliaespitia@correo.unicordoba.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3397-6662>.

²Universidad de Córdoba –Colombia, Facultad de Ciencias Básicas, Departamento de Química. E-mail: jenniferlafont@correo.unicordoba.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8862-2442>.

³ Universidad de Córdoba –Colombia, Facultad de Ciencias Básicas, Departamento de Química. E-mail: taniaga10@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7182-0311>

Recibido: junio 30 de 2022

Aceptado: julio 6 de 2022

Publicado: julio 31 de 2022

Abstract

The objective of this work was to carry out the physicochemical analysis of the rubber tree seed oil and its chemical composition through chromatographic and chemical methods; For this, the rubber seeds were collected, shelled, ground, dried and stored under vacuum, establishing themselves in the raw material from which oil was extracted by pressing and solvent methods, physicochemical properties of humidity, corrosion in the sheet were determined. of copper, indexes of acidity, peroxide and iodine; The chemical composition of the oil was also identified through gas chromatography coupled to mass spectrometry. A higher percentage of oil was found by the solvent extraction method compared to pressing; the physicochemical properties showed oils with little humidity, low level of acidity, corrosion and greater stability to oxidation; it also presented high percentages of unsaturated fatty acids, highlighting linoleic acid (ω -6). It is concluded that the oil from the rubber tree seed has great potential for its industrial use; being attractive for the pharmaceutical industry and production of biodiesel, inks, varnishes, paints, aerosols, adhesives, mainly.

Keyword: Physicochemical analysis, oils, rubber seeds, extraction methods.

Resumen

El objetivo de este trabajo fue realizar el análisis fisicoquímico al aceite de semillas del árbol de caucho y su composición química a través de métodos cromatográficos y químicos; para ello se recolectaron las semillas de caucho, fueron descascaradas, molidas, secadas y almacenadas al vacío, estableciéndose en la materia prima a la que se les extrajo aceite por los métodos de prensado y solvente, se determinaron propiedades fisicoquímicas de humedad, corrosión en lámina de cobre, índices de acidez, peróxido y yodo; también se identificó la composición química del aceite a través de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas. Se encontró mayor porcentaje de aceite por el método de extracción con solvente respecto al prensado; las propiedades fisicoquímicas evidenciaron aceites con poca humedad, bajos nivel de acidez, corrosión y mayor estabilidad a la oxidación; también presentó altos porcentajes de ácidos grasos insaturados, resaltando el linoléico (ω -6). Se concluye que el aceite de la semilla de árbol de caucho tiene grandes potencialidades para su uso industrial; siendo atractivos para la industria farmacéutica y producción de biodiesel, de tintas, barnices, pinturas, aerosoles, adhesivos, principalmente.

Palabras claves: Análisis fisicoquímicos, aceites, semillas de caucho, métodos de extracción.

INTRODUCCIÓN

En el departamento de Córdoba existen numerosas especies de plantas oleaginosas que crecen abundantemente en la naturaleza dentro de las cuales se puede mencionar el árbol de caucho, cuyo nombre científico es *Hevea brasiliensis*; se encuentra abundantemente en la Amazonía, tiene gran importancia industrial, ya que produce látex, que es convertido en caucho, cubriendo la demanda en un 90% (Arumugam, Thulasidharam y Jegadeesan, 2018). Se ha reportado que las semillas del árbol de caucho son ricas en proteínas, estas junto con las tortas y harinas que se obtienen como residuo después de la extracción del aceite por los métodos de prensado y solvente pueden ser utilizadas como abono orgánico, alimento para ganado y aves de corral, de igual forma como fertilizante natural, herbicida y antifúngico (Bhattacharjee et al., 2021).

El aceite extraído de la semilla del árbol es de color marrón negruzco con olor desagradable, el cual ha mostrado variedad de actividades biológicas como; antimicrobiana, antifúngica, antioxidante, antidiarreica entre otras (Oladipo y Eriola, 2020). También ha sido utilizado en la industria de pintura, jabones y aglutinantes. Además, contiene bajas concentraciones de ácidos grasos saturados que pueden ser utilizados en la fabricación de jabones, resinas alquílicas y ceras para madera (Francolin et al., 2021). En general se puede decir que, los productos obtenidos de los árboles de caucho pueden ayudar a establecer una relación entre las especies vegetales y la generación de productos que mejoran la calidad de vida de las comunidades; y puede ser un posible camino para explorar la producción de energía verde más limpia y amigable con el medio ambiente (Aravind, Joy y Prabhakaran, 2015).

A pesar de la diversidad de investigaciones reportadas acerca de las distintas partes del árbol de caucho, se ha restado relevancia al estudio químico del aceite contenido en sus semillas, de las cuales, dependiendo de su composición química, se pueden proponer posibles aplicaciones potenciales para las diversas industrias como la aceitera, cosmetológica, farmacéutica,

alimenticia, automotriz, entre otras, en la búsqueda del mejoramiento económico con bienestar social de los habitantes de la región. De acuerdo a lo anterior se plantea realizar análisis fisicoquímicos a los aceites de semillas de árbol de caucho, y su composición química través de métodos cromatográficos y químicos con el fin de potenciar su aprovechamiento de manera sostenible en la región cordobesa.

MATERIALES Y MÉTODOS

El desarrollo experimental de este trabajo inició con la recolección de las semillas del árbol de caucho en el municipio de Montelíbano, departamento de Córdoba-Colombia; el proceso de pretratamiento consistió en secar las semillas al sol durante 3 días, descascararlas, macerarlas y almacenarlas en bolsas plásticas con cierre hermético para posteriores análisis. Para la obtención del aceite; se realizaron dos métodos: a) extracción por prensado, donde 20 g de semilla macerada se introdujo en el cartucho de la prensa y se sometió a una fuerza de compresión de 4 Kg utilizando un gato hidráulico modelo SKU: TE-098, y se obtuvo el aceite virgen y la torta residual (Rabadán *et al.*, 2018). b) La extracción con solvente, se realizó empleando un equipo de soxhlet con solvente hexano grado analítico, con pureza del 99% (método percolación-inmersión). La extracción con disolvente se realizó transfiriendo 50 gramos de las semillas maceradas a un cartucho de papel poroso ubicado en el dispositivo de extracción soxhlet, se le agregó un volumen definido de disolvente hexano en el balón del equipo y se sometió a calentamiento y reflujo durante tres horas; la mezcla obtenida, fue rotaevaporada para recuperar el solvente y obtener el aceite crudo (Paladines *et al.*, 2017; Jedidi *et al.*, 2020).

Las propiedades fisicoquímicas que se midieron al aceite extraído por el método de solvente fueron: humedad y materia volátil, corrosión en lámina de cobre, índices de yodo, peróxido y número ácido, cada análisis se realizó por triplicado, siguiendo la metodología de la Norma Técnica Colombiana (NTC, 2018), los estándares internacionales de calidad de AOAC (Association of Official Analytical Chemists) y ASTM (American Society for Testing and Materials), luego se

calculó su valor promedio y desviación estándar. Para la determinación de la humedad y materia volátil, se esterilizaron tres capsulas de porcelana, se pesó 0,5 gramos de aceite y se agregaron a las capsulas respectivas, se colocaron en una mufla a temperatura de 105 °C durante 1 hora, se enfriaron y se pesaron. Finalmente, el porcentaje de humedad y materia volátil se calculó por diferencia de pesadas. (Lafont, Páez y Espitia, 2019). En la prueba de corrosión en lámina de cobre (ASTM D130 -10, 2012), se tomó 10 mL de aceite en un erlenmeyer, se les adicionó una lámina de cobre pulida en calentamiento a 50 °C durante 3 horas, luego, se retiró la lámina y se lavó con etanol, se observó si hubo cambio de color y se comparó con el estándar de ASTM D130-10, para clasificar el nivel de corrosión.

Para determinar el índice de acidez, se pesaron 0,5 g de la muestra, luego se adicionó 50 mL de alcohol caliente neutralizado y dos gotas del indicador; se tituló con hidróxido de sodio, agitando hasta que apareciera el primer color rosado, de la misma intensidad que la del alcohol neutralizado antes de la adición de la muestra, finalmente se calculó el número ácido (Chukwu *et al.*, 2020; AOAC 940-28, 2012). Para medir el índice de peróxido, se pesó 0,5 g de muestra, se adicionó 30 ml de solución ácido acético – cloroformo (3:2), se tapó y agitó hasta disolver la muestra, luego se agregó 0,5 ml de solución saturada de yoduro de potasio; se dejó reposar por un minuto, agitando ocasionalmente, luego se agregó agua destilada y solución de almidón (indicador), se tituló con tiosulfato de sodio 0,01 N hasta que

desapareció el color azul, de igual forma se realizó la determinación con un blanco y se calculó el índice de peróxidos (AOCS Cd 8-53, 2003; Chukwu *et al.*, 2020). Para medir el índice de yodo (Método Hanus), se pesó 0,25 g de aceite y se agregó 15 mL de cloroformo, 25 mL del reactivo de Wijs y se dejó reposar 30 minutos en la oscuridad agitando ocasionalmente; a esta mezcla se le adicionó 20 mL de solución de KI al 15%, se agitó vigorosamente y se lavó con agua destilada; luego se añadió el indicador de almidón y se tituló con tiosulfato de sodio 0,1 N hasta que el color azul formado desapareciera; finalmente se calculó el índice de yodo (AOCS Cd 1-25, 1997; Chukwu *et al.*, 2020). Los compuestos presentes en el aceite del árbol de caucho fueron identificados y cuantificados mediante las técnicas de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas, siguiendo el protocolo descrito en C: MSDCHEM\METHODS\ACEITES.M; (Hamerly *et al.*, 2015).

RESULTADOS

El porcentaje de rendimiento en la extracción del aceite de las semillas del árbol de caucho por el método de prensado fue de 77,47% mientras que para el método de solvente se obtuvo 80,52%; motivo por el cual se realizaron los análisis fisicoquímicos al aceite obtenido por el método solvente. En la Tabla 1, se presentan los valores obtenidos en los análisis fisicoquímicos para el aceite extraído por solvente.

Tabla 1. Análisis fisicoquímicos de aceites de árbol de caucho

Materia prima	Humedad %	Corrosión lámina Cu	I. Acidez mg KOH/g	Í. Peróxido meqO ₂ /Kg	Í. Yodo cg I ₂ /g
Árbol de caucho	0,10 (±0,02)	1B	1,96 (±0,03)	2,72 (±0,04)	110,12 (±0,02)

El porcentaje de humedad del aceite de árbol de caucho presento un valor promedio de 0,10 (±0,02) % (Tabla 1), el cual se encuentra dentro del rango estipulado por las normas CODEX (0,2%) y ANDI (0,1%) para la industria de alimentos; lo cual sugiere que las semillas serán

menos propensas a la proliferación de hongos y bacterias provocadas por altos valores de humedad que ocasionan el deterioro de las semillas (Alim *et al.*, 2021; Kugbei, 2019; Li *et al.*, 2020). El resultado del nivel de corrosión 1B del aceite árbol de caucho (Tabla 1), evidenció grado

bajo de corrosión, el cual es verificado por su ligera opacidad, lo cual indica que el aceite no contiene compuestos azufrados que pudieran corroer los contenedores metálicos de almacenamiento, o con algunas partes del motor en caso de ser usado como biocombustible.

El promedio del índice de acidez del aceite de árbol de caucho fue bajo de 1,96 ($\pm 0,03$) mgKOH/g (Tabla 1), estando acorde con los estándares para alimentos CODEX con un máximo (4,0 mgKOH/g) y ANDI (2,07 mgKOH/g) respectivamente; esto quiere decir que hay baja presencia de ácidos grasos libres en el aceite estudiado, siendo indicador del buen estado del mismo, dándole estabilidad. La presencia de ácidos grasos libres ocasiona actividades hidrolíticas de la lipasa, que actúa sobre los aceites provocando cambios durante el almacenamiento, produciendo sabores y olores desagradables debido a la rancidez de los aceites; estas características son producidas por la presencia de ácidos grasos libres. El índice de peróxido fue de 2,72 ($\pm 0,04$) meqO₂/Kg (Tabla 1), es relativamente bajo, sugiriendo alta estabilidad a la degradación; es un indicador del grado de oxidación o de descomposición del aceite (rancidez), al comparar este valor con las normas respectivas se puede observar que se encuentran dentro del rango permitido, con la CODEX (máximo 15 meqO₂/Kg) y con la ANDI (máximo 5 meqO₂/Kg) los valores superiores a estos rangos tienden más a descomponerse.

El valor del índice de yodo para el aceite de árbol de caucho fue de 110,12 ($\pm 0,02$) g I₂/100 (Tabla 1), este se relaciona con el grado de insaturación de los ácidos grasos presentes en el aceite, a mayor grado de insaturación (mayor valor de yodo) hay más probabilidades de que la grasa se enrancie por oxidación; el valor del índice de yodo obtenido es semejante al de algodón, ajonjolí y maíz, indicando que el aceite se puede clasificar como semisecante con valores intermedios de índice de yodo entre (100 y 120)g I₂/100, ya que estos aceites desecan menos que los secantes y generalmente se utilizan en la elaboración de pinturas, aerosoles y adhesivos.

La composición química del aceite de árbol de caucho presentó alto porcentaje de ácidos grasos insaturados (80,0%) con relación a los saturados (20%); los porcentajes de insaturados presentes en orden decreciente fueron: linoleico 39,72%; oleico 26,98%; linolénico 13,1% y eicosenoico 0,2%. Los ácidos grasos saturados fueron: palmítico 11,3%; esteárico 7,2%; araquídico 1,0%; behénico 0,3% y lignocérico 0,2%; se destacan con mayores porcentajes el linoleico (ω -6) y oleico (ω -9); mientras que para los saturados resaltó el palmítico.

DISCUSIÓN

El rendimiento del método de solvente fue mayor (80,52%); comparado con el prensado (77,47%), al contrastar estos datos con la literatura se encontró que el porcentaje de aceite crudo extraído por solvente fue de 63,14% para el árbol de caucho cultivado en Nigeria (Oladipo y Eriola., 2020), siendo menor al obtenido en este trabajo, lo cual podría atribuirse a la composición diversa del suelo y las condiciones medioambientales donde crecieron estos árboles, influyendo estos factores en la biosíntesis de ácidos grasos, incrementando o disminuyendo la cantidad de aceite presente en las semillas. El análisis de humedad y materia volátil realizado al aceite evidenció en promedio 0,10 ($\pm 0,02$) %; al compararlo con el reportado por Oladipo y Eriola (2020), cuyo valor fue de 0,23; se puede evidenciar un resultado levemente menor con relación a la referencia, pero acorde con los estándares de las normas alimenticias CODEX y ANDI (0,2% y 0,1% respectivamente), por lo cual podría ser utilizado en la industria de alimentos; teniendo en cuenta lo anterior se recomienda ampliar esta investigación para analizar el valor nutricional de la semilla y su mayor aprovechamiento.

El valor ácido para el aceite de las semillas del árbol de caucho fue de 1,96 ($\pm 0,03$) mgKOH/g, indicando que hay poca cantidad de ácidos grasos libres presentes en la muestra; en contraste con el reportado por Sumit, Tarkeshwar y Gopinath., (2016) de 0,6 mgKOH/g, se observa que es un poco mayor, esto se puede atribuir a variaciones en el método de extracción y las condiciones

de crecimiento de las plantas y composición química del suelo; no obstante, ambos resultados son favorables ya que representan menor grado de degradación en el aceite; por otra parte, el valor encontrado por Wuttichai *et al.*, (2017) fue mucho mayor de 10,60 mgKOH/g, demostrando que la variación en los tipos de suelo influyen grandemente en los resultados de este análisis, que en este caso presenta mayor tendencia a la degradación. En cuanto al índice de peróxido obtenido fue de 2,72 ($\pm 0,04$) meqO₂/Kg, se comparó con los reportados por Huang y Suzana (2020) con valor de 1,9 meq O₂/kg, estos valores sugieren que este aceite presenta alta estabilidad oxidativa, con baja tendencia a la degradación. El promedio del índice de yodo obtenido en el aceite de estudio fue de 110,12 ($\pm 0,02$) cg I₂/g, comparando con 106 cg I₂/g reportado por Bello y Otú (2015), se evidencio valores aproximados, lo cual, valida estos resultados, sin embargo, el reportado por Huang y Suzana (2020) de 144 cg I₂/g son más lejanos, indicando mayor susceptibilidad a la oxidación. El índice de yodo de este aceite lo puede clasificar como semisecante (Oladipo y Eriola., 2020), otorgándole posibles usos para la elaboración de productos pinturas, aerosoles y adhesivos.

Los resultados del ensayo de corrosión en lámina de cobre del aceite de semillas de árbol de caucho, presentó un valor 1B evidenciando un bajo poder corrosivo del aceite lo cual permite que pueda ser almacenado en contenedores metálicos sin temor a que reaccione con el mismo y genere su descomposición. En cuanto a la composición química del aceite se encontró alto porcentaje de insaturados (80%) comparado con los saturados (20%), características muy importantes para la producción de biodiesel (Lüneburger *et al.*, 2022; Gaddigoudar *et al.*, 2021), por lo cual se recomienda que se amplíe este estudio encaminado a la producción de biocombustibles; debido a que el biodiesel elaborado a partir de un aceite con alto porcentaje de ácidos grasos insaturados, garantiza que este permanezca líquido aún en regiones de bajas temperaturas; por el contrario, los aceites altos en ácidos grasos saturados al convertirlos a biodiesel se solidifican fácilmente, por lo cual no son utilizados ya que ocasionan taponamientos en las partes del sistema de combustible del motor (depósito,

carburador, filtro, bomba, entre otros). Además de lo anterior y con base en los resultados de las propiedades fisicoquímicas analizadas en el aceite de semillas de caucho, se puede recomendar este aceite como una materia prima prometedor para la elaboración de biodiesel, debido a que presentó bajo nivel corrosivo en cobre que es el metal empleado para la tubería interna de los motores protegiéndolos de la corrosión sobre el metal y alargando su vida útil; asimismo el bajo contenido de humedad, acidez y peróxido protegen a los aceites de la degradación y oxidación del mismo, características que facilitan su conversión a biodiesel y durabilidad del mismo.

CONCLUSIONES

Las propiedades fisicoquímicas del aceite de semillas del árbol de caucho presentaron bajos porcentajes de humedad, acidez, peróxido y corrosión en lámina de cobre, evidenciando un aceite poco corrosivo, estable, semisecante, características que son útiles en la producción industrial de tintas, barnices, aerosoles, adhesivos y biocombustibles, principalmente. La composición química del aceite de árbol de caucho presentó mayores porcentajes de ácidos grasos insaturados destacándose el linoleico (ω -6) y Oleico (ω -9), siendo compuestos importantes para la elaboración de medicamentos, prevención de enfermedades cardiovasculares, también para la preparación de productos cosméticos, humectantes y producción de biodiesel.

REFERENCIAS

- Alim, N., Dekker, M. Fogliano, V., Heising, J. (2021). Development of a moisture-activated antimicrobial film containing ground mustard seeds and its application on meat in active packaging system. *Food Packaging and Shelf Life*, 30.100753. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100753>.
- Aravind, A., Joy, M., Prabhakaran, k. (2015). Lubricant properties of biodegradable rubber tree seed (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg) oil, *Industrial Crops and Products*, 74, 14-19. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.04.014>.
- AOAC. Official Methods of Analysis. 16th. Association of Official Analytical Chemists. Washington DC: AOAC International, 4-30 (1995).

Arumugam, A., Thulasidharan, D., Gautham, J B. (2018). Process optimization of biodiesel production from Hevea brasiliensis oil using lipase immobilized on spherical silica aerogel. *Renewable Energy*, 116, Part A, 755-761. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.10.021>.

ASTM, Standard Specification for Biodiesel Fuel Blendstock (B100) for Middle Distillate Fuels. ASTM, Editor 2012, ASTM.

Bello, E., Otú, F. (2015). Physicochemical properties of rubber (Hevea brasiliensis) seed oil, its biodiesel and blends with diesel. *British Journal of Applied Science and Technology*, 6, 261-275. <https://doi.org/10.9734/BJAST/2015/12548>

Bhattacharjee, A., Bhowmik, M., ChiranjitM, Paul., Das Chowdhury y Debnath, B. (2021). Rubber tree seed utilization for green energy, revenue generation and sustainable development—A comprehensive review, *Industrial Crops and Products*, 174, 114186, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114186>.

Chukwu, J.K., Omozuwa, P.O., Imanah, O.E. (2020). Effect of heating time on the physicochemical properties of selected vegetable oils. *Arabian Journal of Chemistry*, 32, 2468-2473. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2020.03.044>.

Francolins, C., Nnuekwe, A., Onukwuli, O., Ofochebe, S., y Ezekannagha, C. (2021). Optimal route for effective conversion of rubber seed oil to biodiesel with desired key fuel properties, *Journal of Cleaner Production*, 280, Part 1, 124563, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124563>.

Gaddigoudar, P.S., Banapurmath, N.R., Basavarajappa, Y.H., Yaliwal, V.S., Harari, P.A., Nataraja, K.M. (2021). Effect of injection timing on the performance of Ceiba Pentandra biodiesel powered dual fuel engine. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.08.009>

Hamerly, T., Tripet, B., Wurch, L., Hettich, R., Podar, M., Bothner, B., Copié, V. (2015). Characterization of Fatty Acids in Crenarchaeota by GC-MS and NMR. *Hindawi*, 1-9.

Huong, T., Suzana, Y. (2020). Chapter 4 - Conversion of rubber seed oil to biodiesel using continuous ultrasonic reactor, Editor(s): Lakhveer Singh, Abu Yousuf, Durga Madhab Mahapatra, *Bioreactors*, Elsevier, Pages 43-54, ISBN 9780128212646.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821264-6.00004-8>

Jedidi, B., Mokbli, S., Sbihi, H., Nehdi, I., Romdhani, M., Al, S. (2020). Effect of extraction solvents on fatty acid composition and physicochemical properties of Tecoma stans seed oils. *Journal of King Saud University - Science*, 32 (4), 2468-2473.

Kugbei, S. (2019). Materiales para capacitación en semillas. Módulo 6. Almacenamiento de semillas, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: ROMA.

Lafont, J., Páez, M., y Espitia, A. (2019). Estudio Físicoquímico del Aceite y Análisis Proximal de la Torta de Semillas Oleaginosas nativas de Córdoba-Colombia. *Información tecnológica*. 30 (4) 85-92.

Li, X., Simpson, W., Song, M., Bao, G., Niu, X., Zhang, Z., Xu, H., Liu, X., Li, Y., Li, C. (2020). Effects of seed moisture content and Epichloe endophyte on germination and physiology of Achnatherum inebrians. *South African Journal of Botany*, 134, 407-414. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.03.022>.

Lüneburger, S., Lazarin, A., Cabreira, L., Moter, D. (2022) Biodiesel production from Hevea Brasiliensis seed oil, *Fuel*, 324, Part B. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124639>

Norma Técnica Colombiana. ICONTEC 287. (2018). Grasas y aceites animales y vegetales. Determinación del contenido de humedad y materia volátil. Instituto Colombiano de Normas Técnicas, Santa Fe de Bogotá 105.

Oladipo B., Eriola, B. (2020). Rubber seed oil extraction: Effects of solvent polarity, extraction time and solid-solvent ratio on its yield and quality. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 24. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101522>

Paladines, G., Lourido, L., Burbano, Z., Al-Shaghdari, A., Monsalve, M., Bello, A. (2017). Obtención y caracterización físicoquímica del aceite de las semillas del mate (*Crescentia cujete* L). *Cumbres*, 3(1), 93-99. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105927>

Rabadán, A., Pardo, J., Gómez, R., Álvarez, M. (2018). Influence of temperature in the extraction of nut oils by means of screw pressing. *LWT - Food Science and Technology*, 93, 354-361. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.061>

Sumit, H., Tarkeshwar, K., Gopinath, H. (2016). Biodiesel synthesis from Hevea brasiliensis oil employing carbon supported heterogeneous catalyst: Optimization by Taguchi method. *Renewable Energy*, 89, 506-514. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.12.027>

Wuttichai, R., Theeranun, S., Boonyawan. Y., Taweesak, S., Vinich, P. (2017). Rubber seed oil as potential non-edible feedstock for biodiesel production using heterogeneous catalyst in Thailand. *Renewable Energy*, 101, 937-944. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.09.057>