

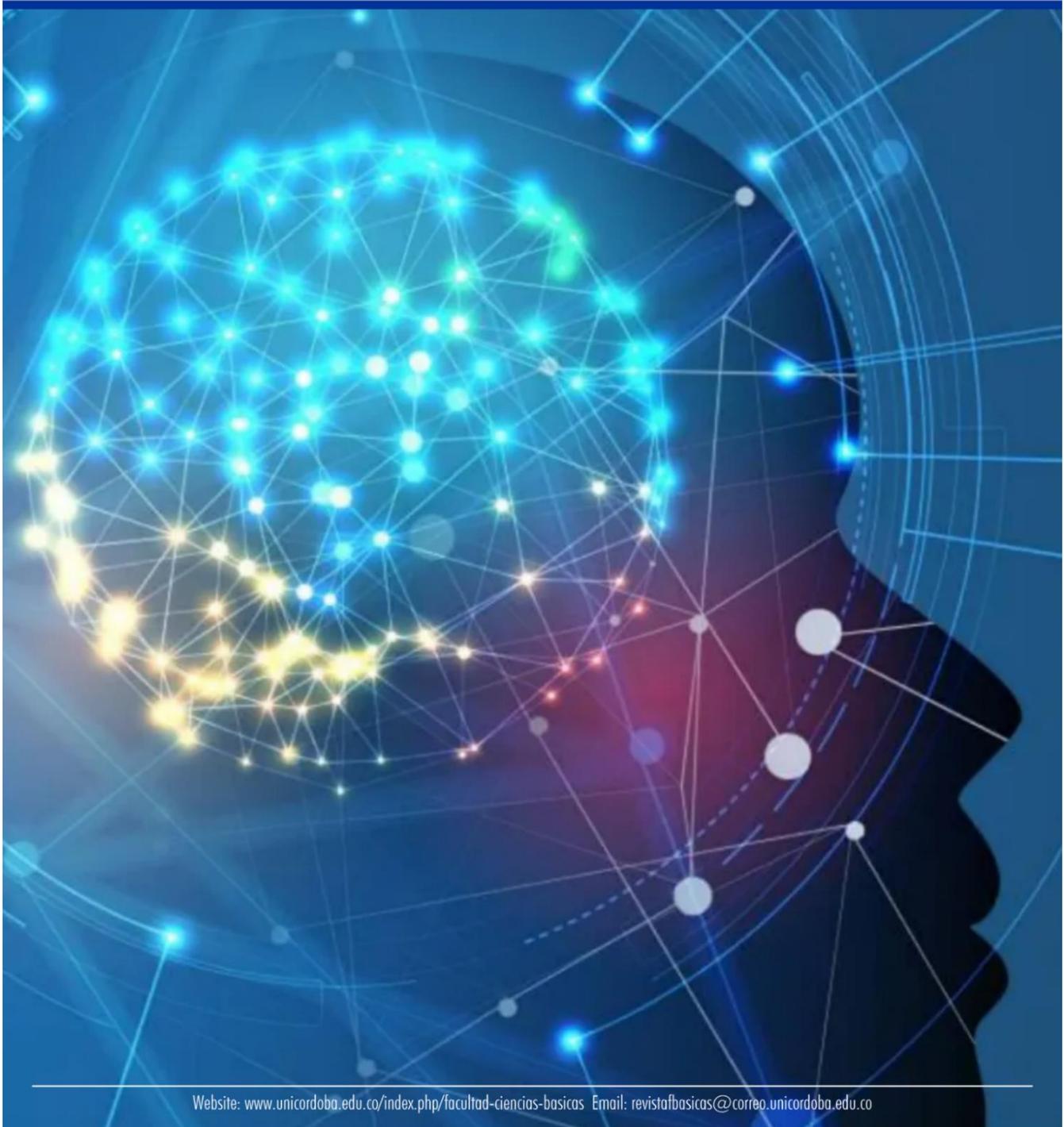


UNIVERSIDAD DE  
**CÓRDOBA**



# **RFCB** Revista Facultad de Ciencias Básicas

Volumen 1- Edición digital N°001 ISSN: 2805-7821



Website: [www.unicordoba.edu.co/index.php/facultad-ciencias-basicas](http://www.unicordoba.edu.co/index.php/facultad-ciencias-basicas) Email: [revistafbasicas@correo.unicordoba.edu.co](mailto:revistafbasicas@correo.unicordoba.edu.co)

## Physicochemical analysis of the Ceiba pentandra oil

### Análisis fisicoquímico del aceite de la Ceiba pentandra

Danny E. CARABALLO L<sup>1</sup>., José D. ALMARIO, Ruiz<sup>2</sup>., Jennifer J. LAFONT. M<sup>3</sup> y Amelia A. ESPITIA A<sup>4</sup>.

<sup>1</sup>Universidad de Córdoba – Colombia, Facultad de Ciencias Básicas, Departamento de Química, Email: danny.caraballo191@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3408-7146>.

<sup>2</sup>Universidad de Córdoba – Colombia, Facultad de Ciencias Básicas, Departamento de Química, Email: josealmario105@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1692-748X>.

<sup>3</sup>Universidad de Córdoba – Colombia, Facultad de Ciencias Básicas, Departamento de Química, Email: jenniferlafont@correo.unicordoba.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8862-2442>.

<sup>4</sup>Universidad de Córdoba – Colombia, Facultad de Ciencias Básicas, Departamento de Química, Email: ameliaespitia@correo.unicordoba.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3397-6662>.

Recibido: agosto 31 de 2021

Aceptado: octubre 21 de 2021

Publicado: noviembre 19 de 2021

#### Abstract

*Ceiba pentandra* seed oil has been little studied and used for this reason, the objective of this research was to determine the physicochemical properties of *Ceiba pentandra* seed oil for the knowledge of its applications, encouraging its cultivation, conservation and commercialization. The methodology begins with the collection of the seeds, these were dried, dehulled and crushed to extract their oil by pressing and solvent methods, the second some physicochemical properties were measured such as: acid number, iodine indices, peroxide, corrosion in copper foil and humidity, following the Colombian Technical Standard (NTC). A higher percentage was found in the oil extraction by the solvent method, the physicochemical parameters presented low humidity values (1,48%), corrosion in copper foil (grade 1A), acid number (1,81 mg KOH/g), peroxide (1,99 meqO<sub>2</sub> / Kg) and iodine (101,95 cg I / g), evidencing a stable, slightly corrosive oil, in addition, the *Ceiba pentandra* oil is in accordance with national and international standards for the industry of food (CODEX). The use of *Ceiba pentandra* oil is recommended in the food industry, it can also be used in the production of cleaning products, cosmetics and biodiesel.

**Keywords:** *Ceiba pentandra*, seeds, oil, physicochemical analysis, applications.

#### Resumen

El aceite de las semillas de *Ceiba pentandra* ha sido poco estudiado y aprovechado por tal razón, el objetivo de esta investigación fue determinar las propiedades fisicoquímicas del aceite de la semilla de *Ceiba pentandra* para el conocimiento de sus aplicaciones, incentivando su cultivo, conservación y comercialización. La metodología inicia con la recolección de las semillas, estas fueron, secadas, descascaradas y trituradas para extraer su aceite por los métodos de prensado y solvente, al segundo se le midieron algunas propiedades fisicoquímicas como: número ácido, índices de yodo, peróxido, corrosión en lámina de cobre y humedad, siguiendo la Norma Técnica Colombiana (NTC). Se encontró mayor porcentaje en la extracción de aceite por el método de solvente, los parámetros fisicoquímicos presentaron bajos valores de humedad (1,48%), corrosión en lámina de cobre (grado 1A), número ácido (1,81 mg KOH/g), peróxido (1,99 meqO<sub>2</sub>/Kg) y yodo (101,95 cg I/g), evidenciando un aceite estable, poco corrosivo, además el aceite de la *Ceiba pentandra* está acorde con los estándares nacionales e internacionales para la industria de alimentos (CODEX). Se recomienda el uso del aceite de *Ceiba pentandra* en la industria alimenticia, también puede ser empleado en la elaboración de productos de limpieza, cosméticos y biodiesel.

**Palabras claves:** *Ceiba pentandra*, semillas, aceite, análisis fisicoquímicos, aplicaciones.

## INTRODUCCIÓN

El árbol de *Ceiba pentandra*, es una especie pionera de rápido crecimiento, encontrada en áreas húmedas de bosques primarios y secundarios; es originaria de América tropical y se ha extendido a otras regiones del mundo; alcanza alturas de hasta 60 metros y el grosor de su tronco puede pasar los 2 metros. Los árboles en su estado silvestre y en plantación pierden sus hojas, renovándolas una vez al año. Los frutos son capsulas ovoides, de 8 a 14 cm de largo y de 4,5 a 7 cm de ancho, las semillas se encuentran envueltas en un algodón sedoso llamado kapok (Moni *et al.*, 2018), las semillas pueden medir de 0,2 - 0,7 mm, son de color café oscuro y se pueden encontrar dentro de cada fruto alrededor de 15 semillas (Silitonga *et al.*, 2013).

El agotamiento de los recursos energéticos fósiles ha llevado a la comunidad científica internacional a dirigir sus investigaciones hacia la producción de los biocombustibles renovables a partir de aceites vegetales y otras fuentes (Montcho *et al.*, 2018). Entre los aceites vegetales se encuentra el obtenido a partir de las semillas del árbol de *Ceiba pentandra*, en la literatura se ha reportado que por cada 100g de semillas, se produce 27,5% de aceite (Anwar *et al.*, 2014) y sus propiedades fisicoquímicas revelaron poca oxidación, manteniéndose el aceite en buen estado. En otros trabajos de investigación se ha llevado el aceite a un proceso de esterificación en medio ácido para producir biodiesel (Handayani *et al.*, 2013; Balajii, & Niju, 2020). De acuerdo con Pooja *et al.*, (2021), el aceite de *Ceiba pentandra* posee alto contenido de ácidos grasos insaturados, lo cual es una condición necesaria para la síntesis de biodiesel y su uso ya sea puro o en mezclas (Silitonga *et al.*, 2020; Kusumo *et al.*, 2017; Ong *et al.*, 2019).

Otras investigaciones interesantes se han reportado sobre la obtención de carbón activado a partir de su biomasa (Franco *et al.*, 2021; Chung *et al.*, 2013), así como el aprovechamiento del algodoncillo del Kapok para la liberación de fármacos (Peraza *et al.*, 2021) y producción de biocombustibles (Dewi, Hafizt, Widjanarko, 2019; Handayani, 2013). A pesar de esta

variedad de investigaciones, son pocos los estudios sobre las propiedades fisicoquímicas del aceite de *Ceiba pentandra*, por tal razón, el objetivo de este trabajo fue determinar las propiedades fisicoquímicas del aceite de las semillas de esta planta, para la determinación de su aplicabilidad, conferirle un valor agregado al árbol, incentivar su cultivo, conservación y comercialización.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Recolección de semilla.** Las semillas de *Ceiba pentandra* fueron recolectadas en el municipio de San Carlos – Córdoba y transportadas al laboratorio de Fisicoquímica Orgánica de la Universidad de Córdoba, Colombia. En este trabajo se muestrearon dos árboles, obteniendo alrededor de 1 kg de semillas; el proceso de pre tratamiento consistió en secar las semillas, descascararlas y triturarlas para extraer sus aceites por los métodos de prensado y solventes.

**Extracción de aceite.** En el método de prensado se empleó una prensa mecánica acoplada a un gato hidráulico modelo SKU: TE-098, en la cual se vertió una muestra de 20 g de semilla triturada, siendo comprimida con una fuerza de 4,0 kg, en este proceso se obtuvo el aceite virgen y la torta residual (Rabadán *et al.*, 2018). En el método de extracción por solvente, se utilizó un equipo de soxhlet empleando hexano (Merck 99.0%) como solvente. Para ello se pesó 50 g de la muestra macerada y se transfirió a un cartucho poroso de papel filtro, que se colocó en el dispositivo de extracción soxhlet, en el balón se agregó el solvente (hexano) y se inició un reflujo sencillo, por un tiempo de 3 horas. La mezcla obtenida, fue rotaevaporada para recuperar el solvente y obtener el aceite crudo (Paladines *et al.*, 2017; Jedidi *et al.*, 2020).

**Propiedades fisicoquímicas.** Las propiedades fisicoquímicas se realizaron al aceite extraído por el método de solvente siguiendo la metodología de la Norma Técnica Colombiana (NTC, 2018). Las propiedades determinadas fueron: humedad y materia volátil, corrosión en lámina de cobre, índices de yodo,

peróxido y número ácido; cada propiedad se realizó por triplicado, luego se calculó su valor promedio y su desviación estándar. A continuación, se describe el procedimiento de cada análisis:

**1. Humedad y materia volátil.** Para este procedimiento se esterilizaron tres capsulas de porcelana, luego se pesó 0,5 gramos de aceite y se adicionaron a las capsulas respectivas, estas se colocaron en una mufla a 105 °C durante 1 hora, se enfriaron en un desecador y se pesaron. Por último, se procedió a calcular el porcentaje de humedad y materia volátil acorde con la ecuación 1. (Lafont, Páez & Espitia, 2019).

$$\% \text{ de Humedad y Materia Volatil} \quad (1)$$

$$= \frac{P_a - P_f}{PM} \times 100$$

Donde:

$P_a$  = (Peso de la capsula + muestra húmeda) - (peso de capsula);

$P_f$  = (Peso de la capsula + muestra seca) - (peso de capsula)

$PM$  = Peso total de la muestra.

**2. Corrosión en lámina de cobre.** Se tomó 10 mL de aceite en un erlenmeyer se calentó 50 °C, se les adicionó una lámina de cobre pulida en calentamiento 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 la ASTM D130-10, para clasificar el nivel de corrosión. La Tabla 1 describe las categorías de corrosión, desde el 1 para el menos corrosivo hasta el 4 con mayor nivel de corrosión (ASTM D130 -10, 2012).

**Tabla 1.** Categorías de corrosión de la lámina de cobre.

Categoría	Designación	Descripción
1	Ligera opacidad	a. Naranja Claro, casi igual que naturalmente
		b. Naranja oscuro
2	Moderada opacidad	a. Rojo claro
		b. Lavanda
		c. Múltiples colores con lavanda, azul, plata o ambos, recubiertos en el rojo
		d. Plateado
		e. De latón u oro
3	Oscura opacidad	a. Coloración magenta
		b. Multicolores con rojo y verde, mostrando forma de pavo real pero ningún gris
4	Corrosión	a. Negro transparente, gris oscuro o marrón
		b. Grafito o negro mate
		c. Glaseado o azabachado

Fuente: (ASTM D130 -10, 2012).

**3. Número ácido.** Se pesaron 0,5 g de la muestra en un erlenmeyer, luego se adicionó 50 mL de alcohol caliente neutralizado y dos gotas del indicador; se tituló con una solución de hidróxido de sodio, agitando hasta que apareciera en forma permanente el primer color rosado, de la misma intensidad que la del alcohol neutralizado antes de la adición de la muestra, luego se procedió a calcular el número ácido de acuerdo a la ecuación 2 (Chukwu *et al.*, 2020; AOAC 940-28, 2012).

$$\text{Número ácido} = \frac{V \times 56.1 \times N}{Pm} \quad (2)$$

Donde:

$V$  = Volumen en mL de hidróxido de sodio empleado (muestra y blanco)

$N$  = Normalidad del hidróxido de sodio

$Pm$  = Peso del aceite en gramos

**4. Índice de peróxidos (IP).** Se pesó 0,5 g de muestra, se agregó a un erlenmeyer de 250 ml, 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. Esta solución se dejó reposar por un minuto, se agitó ocasionalmente, luego se agregó 30 mL de agua destilada y 0,5 mL de la 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; después se procedió a calcular el índice de peróxidos según la ecuación 3 (AOCS Cd 8-53, 2003; Chukwu *et al.*, 2020).

$$\text{Índice de Peróxido} = \frac{(V_M - V_B) \times N \times 1000}{Pm} \quad (3)$$

Donde:

$V_M$  = Volumen gastado en la titulación de la muestra (mL).

$V_B$  = Volumen gastado en la titulación del blanco (mL).

$N$  = Normalidad de la solución de tiosulfato.

$Pm$  = Peso de la muestra (g).

**5. Índice de yodo (Método de Hanus).** Se pesó 0,25 g de aceite en un erlenmeyer, esta muestra se disolvió en 15 mL de cloroformo, después se le agregó 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 150 mL de agua destilada; luego se añadió 1 mL del indicador de almidón y se tituló con tiosulfato de sodio 0,1 N hasta que el color azul formado desapareciera completamente; finalmente se calculó el índice de yodo, acorde a la ecuación 4 (AOCS Cd 1-25, 1997; Chukwu *et al.*, 2020).

$$\text{Índice de Yodo} = \frac{(V_B - V_M) \times N \times 12.67}{Pm} \quad (4)$$

Dónde:

$V_B$  = Volumen gastado en la titulación del blanco (mL).

$V_M$  = Volumen gastado en la titulación de la muestra (mL).

$N$  = Normalidad de la solución de tiosulfato.

12.67: Factor de conversión

$Pm$  = Peso de la muestra (g).

**6. Análisis estadísticos.** Los datos fueron analizados con estadísticas descriptivas a través de la media y la desviación estándar utilizando el programa de Excel 2013.

## RESULTADOS

El porcentaje de rendimiento en la extracción del aceite de las semillas de *Ceiba pentandra* por el método de prensado fue bastante bajo ( $2,03 \pm 1,03\%$ ), mientras que para el método de solvente se obtuvo un alto porcentaje ( $68,64 \pm 1,60\%$ ) presentando mejores resultados, motivo por el cual se realizaron los análisis fisicoquímicos al aceite obtenido por el método solvente. En la Tabla 2, se presentan los valores obtenidos en los análisis fisicoquímicos para el aceite extraído por solvente.

**Tabla 2.** Análisis fisicoquímicos del aceite de *Ceiba pentandra* extraído por solvente.

Parámetro	Unidad	Contenido	Ref. 1	Ref.2
Humedad	%	*1,48 ( $\pm 0,08$ )	*6,05 ( $\pm 0,36$ )	*-
Lámina de cobre	-	1 A	-	-
Numero ácido	mg KOH/g	*1,81 ( $\pm 0,05$ )	*4,52 ( $\pm 0,24$ )	*1,7 ( $\pm 0,03$ )
Índice peróxido	meqO <sub>2</sub> / Kg	*1,99 ( $\pm 0,09$ )	*2,16 ( $\pm 0,54$ )	-
Índice de yodo	cg I/g	*101,95 ( $\pm 0,42$ )	*129,79 ( $\pm 2,81$ )	*102,5 ( $\pm 2,10$ )

\* Promedios ( $\pm$  desviación estándar). Ref.1 (Montcho *et al.*, 2018). Ref.2 (Mondal, 2015).

## Humedad

El porcentaje de humedad del aceite de *Ceiba pentandra* presento un valor promedio de 1,48 ( $\pm 0,08$ ) % (Tabla 2), el cual es relativamente alto comparado con los valores máximos estipulados por las normas CODEX (0,2%) y ANDI (0,1%) para la industria de alimentos; lo cual sugiere que las semillas se deben dejar más tiempo en el proceso de secado antes de la extracción del aceite o para su almacenamiento, lo cual es esencial, dado que cuando las semillas contienen humedad están expuestas a la proliferación de bacterias y hongos que pueden ocasionar su deterioro (Alim et al., 2021; Kugbei, 2019; Li et al., 2020).

## Corrosión en lámina de cobre

Los resultados de los ensayos de corrosión en lámina de cobre del aceite de *Ceiba pentandra*, evidenciaron el nivel de corrosión 1A (Tabla 2) siendo este el más bajo. Esto sugiere que el aceite no contiene compuestos azufrados que puedan ser corrosivos y reaccionen con los contenedores metálicos de almacenamiento dañándolos, con la piel en la manipulación del mismo, o con algunas partes del motor en caso de ser utilizado como biocombustible.

## Número ácido

El promedio del número ácido del aceite de *Ceiba pentandra* fue bajo de 1,81 ( $\pm 0,05$ ) mgKOH/g (Tabla 2), acorde con los estándares para alimentos CODEX máximo (4,0 mgKOH/g) y ANDI (2,07 mgKOH/g) respectivamente; este valor indica que hay menos cantidad de ácidos grasos libres presentes en la muestra analizada, siendo un indicador del buen estado del aceite, es decir que no se descompone con facilidad, es estable. La presencia de ácidos grasos libres genera actividades hidrolíticas de la lipasa, que actúa sobre los aceites efectuando cambios durante el almacenamiento, produciendo sabores y olores desagradables con la rancidez de los aceites; estas características son ocasionadas por la presencia de ácidos grasos libres, pero el proceso de enranciamiento se debe principalmente a la oxidación atmosférica o auto oxidación.

## Índice de peróxido

El índice de peróxido fue de 1,99 ( $\pm 0,09$ ) MeqO<sub>2</sub>/Kg (Tabla 2) que es relativamente bajo, lo cual indica que es bastante estable a la degradación; es un indicador del grado de oxidación o de descomposición del aceite (rancidez), al comparar este valor con las normas se observa que se encuentran dentro del rango permitido, con la CODEX (15 MeqO<sub>2</sub>/Kg), de acuerdo con la ANDI los valores superiores a 5 MeqO<sub>2</sub>/Kg de muestra son más propensos a descomponerse.

## Índice de yodo

El valor promedio para el índice de yodo fue de 101,95 ( $\pm 0,42$ ) g I/100 (Tabla 2), el cual está relacionado con el grado de insaturación de los ácidos grasos presentes en el aceite, mientras mayor sea el grado de insaturación (mayor valor de yodo) hay más posibilidad de que la grasa se enrancie por oxidación; además 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 I/100, porque estos aceites desecan menos que los aceites secantes y son generalmente usados para la elaboración de pinturas, aerosoles y adhesivos.

## Ácidos grasos

La composición química del aceite de *Ceiba pentandra* presentó alto porcentaje de ácidos grasos insaturados (61.0%) destacándose el linoleico y oleico principalmente, le sigue un 23.8% de ácidos grasos saturados resaltando el palmítico entre otros, adicionalmente se encontró el 12.1% de ácidos grasos ciclopropanoicos lo que indica que se pueden formar epóxidos causantes de la descomposición rápida del aceite.

## DISCUSIÓN

El rendimiento del método de solvente fue mucho mayor con 68,64 ( $\pm 1,60$ )%; comparado con el prensado que fue de 2,03 ( $\pm 1,60$ )%, al contrastar estos datos con la literatura se encontró que el porcentaje de aceite crudo extraído por solvente fue de

31.62( $\pm$ 1.60)% para la *Ceiba pentandra* cultivada en Benín África (Montcho *et al.*, 2018), el cual registra un valor inferior al obtenido en este trabajo, este comportamiento posiblemente puede ser debido a las diferencias en la composición química del suelo y las condiciones medio ambientales donde crecieron estas plantas, las cuales influyen en la bioquímica vegetal, la formación de las biomoléculas y sus procesos metabólicos, aumentando o disminuyendo la cantidad de aceite.

En el análisis de humedad y materia volátil el aceite de *Ceiba pentandra* presentó en promedio 1,48 ( $\pm$  0,01)% de humedad, comparado este resultado con el obtenido por (Montcho *et al.*, 2018) el cual reporta 6,05 ( $\pm$  0,36)% de humedad y materia volátil, se puede evidenciar que este valor es mucho mayor que el reportado en esta investigación, afectando la calidad del aceite dado que al incrementarse la humedad se aumenta la reacción de hidrólisis, generando la formación de ácidos grasos libres, lo que lleva al aumento de la acidez del aceite. Al comparar ambos valores con los estándares de las normas alimenticias CODEX y ANDI que reportan un porcentaje de humedad máximo de 0,2% y 0,1% respectivamente, se evidencia que el valor obtenido en ambas investigaciones es superior, por lo tanto el tratamiento de secado no es el más adecuado, para el uso de aceites en la alimentación de humanos, sin embargo, al mejorar este proceso puede ser empleado en la industria alimenticia (Silitonga *et al.*, 2013). En este sentido se recomienda ampliar esta investigación para analizar el valor nutricional de la semilla y así aprovecharla de una mejor forma.

El número ácido del aceite de *Ceiba pentandra* en promedio fue de 1,81( $\pm$  0,05) mgKOH/g, lo cual indica que hay poca cantidad de ácidos grasos libres presentes en la muestra. Al comparar el número ácido del aceite de *Ceiba pentandra* obtenido en este trabajo con el reportado por Mondal, (2015) de 1,7 ( $\pm$ 0,03) mgKOH/g, se observa valores cercanos en ambos resultados, siendo favorables porque representa menor grado de degradación en el aceite; sin embargo el valor encontrado por Montcho *et al.*, (2018) fue mucho

mayor de 4.52 ( $\pm$  0.24) mgKOH/g, demostrando mayor tendencia a la degradación.

El índice de peróxido del aceite de *Ceiba pentandra* obtenido fue de 1,99 ( $\pm$  0,02) MeqO<sub>2</sub>/Kg, se comparó con los reportados por Montcho *et al.*, (2018) el cual registra un valor de 2,16 ( $\pm$  0,54) meq O<sub>2</sub>/kg, estos valores sugieren que este aceite presenta alta estabilidad oxidativa.

El promedio del índice de yodo obtenido en el aceite de *Ceiba pentandra* fue de 101,95 ( $\pm$  0,42) cg I/g, comparando este valor con 102.5 ( $\pm$  2.1) cg I<sub>2</sub>/g reportado por Mondal, (2015), se evidencian valores muy aproximados, lo cual valida estos resultados, sin embargo el reportado por Montcho *et al.*, (2018) son más lejanos, indicando mayor susceptibilidad a la oxidación. También el índice de yodo fue comparado con las normas alimenticias las cuales reportan rangos entre 75,0 – 94,0 y 75,0 – 94,0 cg de I/g respectivamente, evidenciándose que el aceite de *Ceiba pentandra* supera los límites de estas normas para uso alimenticio en humanos, sin embargo, si la muestra es tratada puede ser empleada para alimento de animales. El índice de yodo de este aceite se puede clasificar como semisecante (Romero & Vargas, 2005), otorgándole posibles usos para la elaboración de productos de limpieza y cosméticos.

Los resultados del ensayo de corrosión en lámina de cobre del aceite de *Ceiba pentandra*, presentó un valor 1A evidenciando un bajo poder corrosivo; se comparó este resultado con los reportados por Montcho *et al.*, (2018) el cual presentó un valor de 1A siendo similares, validando estos resultados, la baja corrosividad del aceite 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 (61%) comparado con los saturados (23,8), características que son muy importantes para la producción de biodiesel (Silitonga *et al.*, 2020; Gaddigoudar *et al.*, 2021), por lo cual se recomienda que se amplíe este estudio encaminado a la producción de biocombustibles.

## CONCLUSIONES

Las propiedades fisicoquímicas del aceite de *Ceiba pentandra* permitieron determinar las características del mismo, con bajos valores de humedad, número ácido, índices de peróxido, yodo y corrosión en lámina de cobre, lo cual refleja un aceite estable, poco corrosivo y biodegradable, otorgándole diversas aplicabilidades entre ellas, la elaboración de jabones, cosméticos, productos de limpieza, producción de biocombustibles y de alimentos.

## 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.foodpack.2021.100753>.
- Anwar, F., Rashid, U., Shahid, S., Nadeem, M. (2014). Physicochemical and Antioxidant Characteristics of Kapok (*Ceiba pentandra Gaertn*). *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 91 (6) 1047–1054. <https://doi.org/10.1007/s11746-014-2445-y>
- ASTM, Standard Specification for Biodiesel Fuel Blendstock (B100) for Middle Distillate Fuels. ASTM, Editor 2012, ASTM.
- Balajii, M., & Niju, S. (2020). Banana peduncle – A green and renewable heterogeneous base catalyst for biodiesel production from *Ceiba pentandra* oil, *Renewable Energy*, 146, 2255–2269. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.062>.
- Chung, J.T., Hwang, K.J., Shim, W.G., Kim, C., Park, J.Y., Choi, D.Y., Lee, J.W. (2013). Synthesis and characterization of activated hollow carbon fibers from *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. (kapok). *Materials Letters*, 93, 401–403.
- 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>.
- Dewi, R., Hafizt, M., Widjanarko, D. (2019). Reduction of FFA in Kapok Randu (*Ceiba pentandra*) Seed Oil via Esterification Reaction Using Sulfuric Acid Catalyst: Experimental and Kinetics Study, *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 8(2), 156 – 166. <http://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/jbat>.
- Franco, D., Georgin, J., Schadeck, M., Allasia, D., Oliveira, M., Luiz, E., Luiz, G. (2021). Highly effective adsorption of synthetic phenol effluent by a novel activated carbon prepared from fruit wastes of the *Ceiba speciosa* forest species. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9 (5), 105927. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105927>.
- 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*, EN PRENSA, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.08.009>.
- Handayani, N. A., Santosa, H., Sofyan, M., Tanjung, I., Chyntia, A., Putri, P. A. R. S., & Ramadhan, Z. R. (2013). Biodiesel Production from Kapok (*Ceiba pentandra*) Seed Oil using Naturally Alkaline Catalyst as an Effort of Green Energy and Technology. *International Journal of Renewable Energy Development (IJRED)*, 2 (3), 169–173. <https://doi.org/10.14710/ijred.2.3.169-173>
- 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.*
- Kusumo, F., Silitonga, A.S. Masjuki, H.H. Ong, H.C., Siswanto, J., Mahlia, M.I. (2017). Optimization of transesterification process for *Ceiba pentandra* oil: A comparative study between kernel-based extreme learning machine and artificial neural networks. *Energy*, 134, 24–34.
- Lafont, Páez, & Espitia. (2019). Estudio Fisicoquímico 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>.
- Mondal, B. (2015). Physicochemical characteristics, fatty acid composition and nutritional evaluation of four minor oils. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 04(04), 301–305. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2015.4.4.301-305>.
- Moni, M., Deka, C., Ahmed, S., Kumar, D., Kumar, D. (2018). Alkyls from red silk-cotton (*Bombax ceiba*) seed oil and investigation on their microbial degradation. *Progress in Organic Coatings*, 124, 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2018.08.008>.
- Montcho, P. S., Tchiakpe, L., Nonviho, G., Diane, F. T., Sidohounde, A., Pascal, C., Sohounhloue, K. (2018). Fatty acid profile and quality parameters of *Ceiba pentandra* (L.) seed oil: A potential source of biodiesel. 9(December), 14–19.

<https://doi.org/10.5897/JPTAF2018.0141>

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.

Ong, H. C., Milano, J., Silitonga, A.S., Hassan, M.H., Shamsuddin, A.H., Wang, C.T., Indra, T.M., Siswanto, J., Kusumo, F., Sutrisno, J. (2019). Biodiesel production from *Calophyllum inophyllum*-*Ceiba pentandra* oil mixture: Optimization and characterization. *Journal of Cleaner Production*, 219, 183-198. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.048>.

Peraza, S. A. Escobar, B., Rodríguez, N., Cervantes, J.M., Uribe, J.A. (2021). *Ceiba pentandra* cellulose crosslinked with citric acid for drug release systems. *Carbohydrate Research*, 504, 108334. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2021.108334>.

Pooja, S., Anbarasan, B., Ponnusami, V., Arumugam, A. (2021). Efficient production and optimization of biodiesel from kapok (*Ceiba pentandra*) oil by lipase transesterification process: Addressing positive environmental impact. *Renewable Energy*, 165, Part I, 619-631. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.11.053>.

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>.

Romero, C., & Vargas, M. (2005). Extracción del aceite de la semilla de neem (*Azadirachta indica*) Extraction of oil from the neem seed (*Azadirachta indica*). *Scientific Journal from the Experimental Faculty of Sciences*, 13(4), 464-474.

Silitonga, A. S., Ong, H. C., Mahlia, T. M. I., Masjuki, H. H., & Chong, W. T. (2013). Characterization and production of *Ceiba pentandra* biodiesel and its blends. *Fuel*, 108, 855-858. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.02.014>

Silitonga, A.S., Shamsuddin, A.H., Mahlia, T.M., Milano, J., Kusumo, F., Siswanto, J., Dharma, S., Sebayang, A.H. Masjuki, H.H. Ong, H.C. (2020). Biodiesel synthesis from *Ceiba pentandra* oil by microwave irradiation-assisted transesterification: ELM modeling and optimization. *Renewable Energy*, 146, 1278-1291. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.065>

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.