

# Aceite de Metohuayo (*Caryodendron orinocense* Karst) Obtenido por Prensado Hidráulico y Expeller: Análisis de Rendimiento y Características Físico-química

## Metohuayo Oil (*Caryodendron orinocense* Karst) Obtained by Hydraulic Pressing and Expeller: Yield Analysis and Physical-chemical Characteristics

Víctor Delgado-Soriano<sup>1</sup>; Yessy Espinoza<sup>2</sup>; Rubén Torre<sup>3</sup>; Christian R. Encina-Zelada<sup>4</sup>

### Resumen

El objetivo principal de la investigación fue obtener aceite de metohuayo mediante prensado hidráulico versus expeller (a 50, 70 y 90 °C). Se evaluó el rendimiento de extracción y se caracterizaron las propiedades físico-químicas del aceite. La semilla destacó por su alto contenido de grasa (40,5 %) y color  $L^*$  (29,3),  $a^*$  (9,7) y  $b^*$  (18,4). El prensado en expeller a 50 °C presentó los valores máximos de rendimiento y recuperación de aceite con 39,2% y 96,9%, respectivamente. La misma tendencia se pudo apreciar en los parámetros de calidad analizados: índice de acidez, índice de peróxido, índice de *p*-anisidina y coeficientes  $K_{232}$  y  $K_{268}$ , donde los valores evidenciaron un incremento con las temperaturas del prensado en expeller. Los resultados mostraron que el conjunto de características físico-químicas permiten el reconocimiento y diferenciación de los aceites obtenidos en relación con la temperatura; y mediante Análisis de Componentes Principales (PCA) se pudo inferir que este tipo de datos sirve como herramienta de reconocimiento preliminar para distinguir el efecto de los métodos de extracción. Finalmente, los aceites obtenidos por ambos métodos, aunque presentaron diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ) en sus características físico-químicas, mostraron valores dentro de los rangos establecidos por el *Codex Alimentarius*. Estos resultados proponen la extracción de aceite mediante prensado en expeller como un proceso tecnológico que mejora, en comparación con el prensado hidráulico, el aprovechamiento del aceite de semillas de metohuayo producido en los Andes tropicales, conforme a las nuevas exigencias del mercado.

**Palabras clave:** Semillas oleaginosas, tecnología verde, subutilizado, análisis de componentes principales (PCA), maní del monte.

### Abstract

The main objective of the research was to obtain metohuayo oil by hydraulic pressing versus screw pressing (at 50, 70 and 90 °C). The variables evaluated on the extracted oil were: extraction yield and physical-chemical. The seed stood out for its high fat content (40.5 %) and color  $L^*$  (29.3),  $a^*$  (9.7) and  $b^*$  (18.4). Screw pressing at 50 °C presented the maximum yield and oil recovery values: 39.2% and 96.9%, respectively. The same trend was observed for the quality parameters analyzed: acidity index, peroxide index, *p*-anisidine index and coefficients  $K_{232}$  and  $K_{268}$ , where their values showed an increase related with temperature levels of the screw pressing. The results showed that the set of physical-chemical characteristics allow the recognition and differentiation of the oils obtained in relation to temperature levels, and through a Principal Component Analysis (PCA) it was possible to infer that this type of results can be used as a recognition tool in this process to distinguish the effect of extraction methods. Finally, the oils obtained by both methods, although they showed statistical differences ( $p < 0.05$ ) in their physical-chemical characteristics, showed values within the ranges established by the *Codex Alimentarius*. These results propose the extraction of oil by screw pressing as a technological process that improves, compared to hydraulic pressing, the use of metohuayo seed oil produced in the tropical Andes, in accordance with the new market demands.

**Keywords:** Oilseeds, green technology, underutilized, principal component analysis (PCA), mountain peanut.

**Recibido:** 20/05/2022

**Aceptado:** 02/10/2022

**Publicado:** 08/11/2022

**Sección:** Artículo original

\*Autor para correspondencia: [vdelgado@lamolina.edu.pe](mailto:vdelgado@lamolina.edu.pe)

### Introducción

Maneras efectivas de valorar las especies arbóreas y prevenir su extinción serían usar algunas técnicas de reforestación o reducir la deforestación. Otra solución es encontrar el uso adecuado de sus principales productos (frutos, hojas y semillas), encaminada al mantenimiento de un ciclo que asegure la protección y supervivencia de la especie (Lopes *et al.*, 2018).

Algunos árboles amazónicos tienen importancia económica mundial; mientras otros con importancia

<sup>1</sup> Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Industrias Alimentarias, Departamento de Tecnología de Alimentos y Productos Agropecuarios, Av. La Universidad s/n. La Molina, Lima. Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9625-5424>

<sup>2</sup> Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Industrias Alimentarias, Departamento de Tecnología de Alimentos y Productos Agropecuarios, Av. La Universidad s/n. La Molina, Lima. Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7197-8426>

<sup>3</sup> Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Industrias Alimentarias, Departamento de Tecnología de Alimentos y Productos Agropecuarios, Av. La Universidad s/n. La Molina, Lima. Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2564-2312>

<sup>4</sup> Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Industrias Alimentarias, Departamento de Tecnología de Alimentos y Productos Agropecuarios, Av. La Universidad s/n. La Molina, Lima. Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6834-7121>

**Como citar:** Delgado-Soriano, V., Espinoza, Y., Torre, R., & Encina-Zelada, C. R. (2022). Aceite de Metohuayo (*Caryodendron orinocense* Karst) Obtenido por Prensado Hidráulico y Expeller: Análisis de Rendimiento y Características Físico-química. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(4), 236-247. <https://doi.org/10.18271/ria.2022.446>



regional presentan reducida aplicación en la industria, desatendidos por falta de la investigación necesaria para estimular su uso (Ferreira *et al.*, 2021). En este contexto, el metohuayo (*Caryodendron orinocense* Karst) es un producto de importancia alimentaria para las poblaciones asentadas en regiones amazónicas de Sudamérica como Perú, Ecuador, Colombia y Venezuela (Padilla *et al.*, 1996; Pérez *et al.*, 1999; Duke, 2017); sus semillas son fuente importante de lípidos (~ 30 %) (Alfaro *et al.*, 2000) y sin embargo se encuentran poco difundidas en zonas urbanas o empleadas como producto industrializado. Por ello se lo clasifica como un cultivo subutilizado, con popularidad en el pasado pero hoy apreciado casi exclusivamente por los productores y consumidores del ámbito local (Leal *et al.*, 2018).

La extracción de su aceite se realiza mediante diferentes métodos. Los métodos químicos son ampliamente utilizados para diversas matrices alimentarias, aunque actualmente el uso de solventes en la industria es motivo de gran preocupación en sectores gubernamentales y medioambientales (Satriana *et al.*, 2019). Desafortunadamente los solventes orgánicos debido a su alta volatilidad representan un serio problema; el hexano comúnmente utilizado para este propósito, aunque muy eficiente, es un solvente muy cuestionado desde el punto de vista toxicológico y ambiental (de Jesus y Filho, 2020; Vargas *et al.*, 2020). Frente a esto, los métodos mecánicos como el prensado hidráulico y por expeller, permiten obtener aceite de uso directo (Konopka *et al.*, 2016). La razón principal de la popularidad de los prensados mecánicos para obtener aceite, en diversos países, es que los equipos son de construcción simple y resistente, pueden ser mantenidos y operados con facilidad y pueden adaptarse rápidamente al procesamiento de diferentes semillas oleaginosas.

Además, a diferencia del método de extracción por solventes, el prensado mecánico permite obtener tortas ricas en proteínas libres de químicos (Yate *et al.*, 2020).

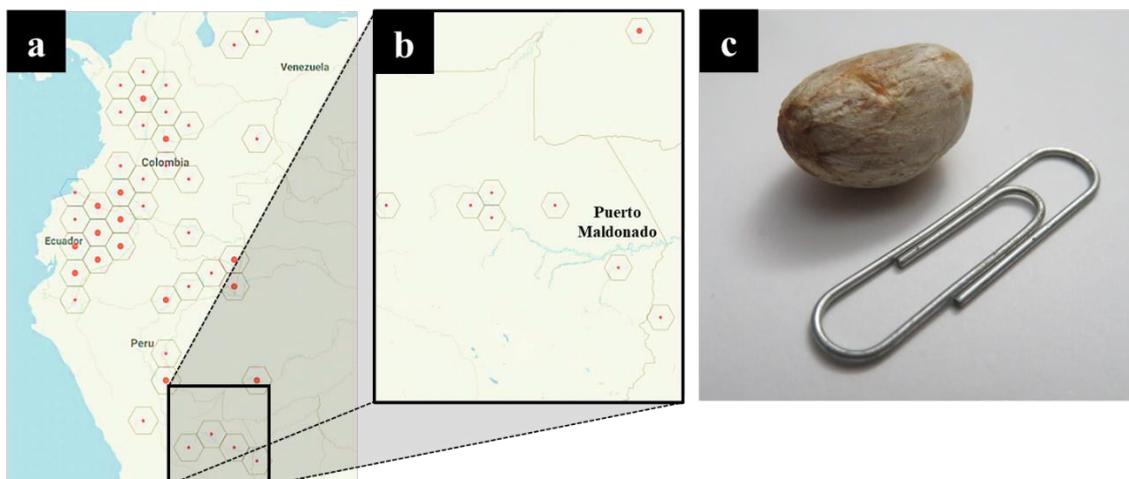
En la literatura científica es posible encontrar investigaciones que dan información sobre la composición química y las propiedades funcionales de la harina de metohuayo (Padilla *et al.*, 1996), extracción de aceite con solventes mediante método soxhlet para su empleo en cosméticos (Pérez *et al.*, 1999), determinación del contenido de tocoferoles del aceite extraído con solventes (Alfaro *et al.*, 2000), determinación de la actividad antioxidante del aceite (Radice *et al.*, 2014), determinación de la digestibilidad del concentrado proteico (Greffa *et al.*, 2018) y potencial antibacterial del aceite (Medeiros de Azevedo *et al.*, 2020). Sin embargo, no existe información científica sobre el efecto de los métodos de prensado y las condiciones de extracción sobre las características físico-químicas del aceite de metohuayo.

En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo principal determinar las diferencias en rendimiento y características físico-químicas en el aceite de metohuayo obtenido por prensado hidráulico y por expeller (a 50, 70 y 90 °C).

## Materiales y métodos

### Materia prima

Se emplearon 5 kg de semillas de metohuayo (*Caryodendron orinocense* Karst.), adquiridas en 2019 de un mismo distribuidor en el mercado central del departamento de Puerto Maldonado (Madre de Dios, Perú) (Figura 1).



**Figura 1.** a) Regiones productoras de Metohuayo, b) Lugar de procedencia de la muestra y c) Semilla de metohuayo.

Fuente: GBIF Backbone Taxonomy (2022).

## Acondicionamiento de la materia prima

Las semillas de metohuayo fueron limpiadas y seleccionadas, para posteriormente remover la cáscara y reducir el tamaño de partícula (~ 3 mm) mediante un picado; estas actividades fueron realizadas manualmente. Las semillas acondicionadas fueron hidratadas con agua destilada hasta alcanzar una humedad de 10%; de acuerdo con lo establecido por Ugarte-Espinoza *et al.* (2021), la humedad de la muestra aumentó la plasticidad y contribuyó a la alimentación de la prensa debido a su efecto lubricante dentro del barril, lo que permitió mejorar la extracción de aceite evitando la saturación y obstrucción del sistema durante el prensado. Las semillas hidratadas fueron envasadas en recipientes herméticos y almacenadas a temperatura ambiente por 48 h aproximadamente para alcanzar el equilibrio. Los recipientes fueron agitados en intervalos regulares para distribuir la humedad de manera uniforme. La cantidad de agua necesaria fue determinada aplicando la fórmula establecida por Mridula *et al.* (2015).

$$M_A = \frac{M_S(H_1 - H_0)}{(100 - H_1)}$$

Donde  $M_A$  es la masa de agua a agregar (g),  $M_S$  es la masa de semillas que se va a hidratar (g),  $H_0$  es la humedad inicial de las semillas y  $H_1$  es la humedad final deseada.

Las semillas hidratadas fueron almacenadas a 4 °C en bolsas herméticas de polietileno de alta densidad hasta el momento de su uso.

## Métodos de extracción de aceite

### Extracción por prensa hidráulica

Las semillas previamente acondicionadas fueron colocadas dentro de una bolsa de tela y depositadas en el interior de la prensa hidráulica de acero inoxidable (Figura 2), con motor de 2 HP y 6000 psi. Se consideraron tiempos de prensado de 20 minutos entre recargas del sistema.

### Extracción por prensa expeller

Las semillas fueron prensadas a 50, 70 y 90 °C, usando una prensa de tornillo KOMET (CA 59 G, IBG Monforts, Alemania) (Figura 2) a una velocidad de tornillo de 14 RPM y un diámetro de boquilla de 4 mm. Antes de introducir las semillas en la tolva de alimentación, se hizo funcionar la prensa durante 15 minutos con calentamiento a través del anillo de resistencia eléctrica fijado alrededor del cabezal de prensado para elevar la temperatura del cilindro al nivel seleccionado.

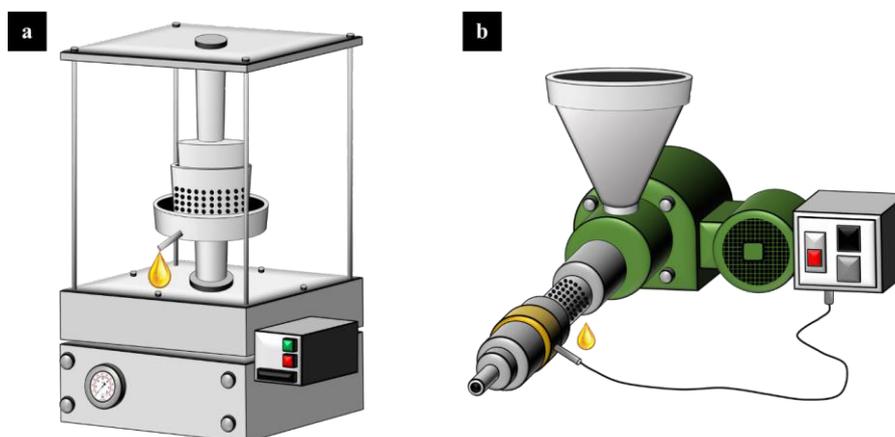


Figura 2. Sistemas de extracción de aceite: a) Prensa hidráulica y b) Prensa expeller.

## Métodos de análisis

### Análisis físico-químicos de las semillas enteras

Los aceites obtenidos por ambos métodos de extracción fueron previamente centrifugados a 2,701xg durante 30 min, con la finalidad de separar impurezas o restos de materia prima del aceite, para finalmente almacenarlos en botellas ámbar a 4 °C hasta su

análisis. La determinación de humedad, grasa cruda, cenizas, fibra y proteína (N x 6,25) de las semillas fueron determinadas de acuerdo a las metodologías descritas en la AOAC, 935.29, 945.16, 950.49, 962.09 y 950.48, respectivamente (AOAC international, 2016). El contenido de carbohidratos totales fue determinado por diferencia; el contenido energético fue calculado usando los factores de conversión de Atwater, según lo indicado por Hussein *et al.* (2018).

El color se determinó con un colorímetro (Chromater–KONICA MINOLTA®) sobre la capa externa de la semilla, en la escala CIELAB ( $L^*a^*b^*$ ) siguiendo el procedimiento de Stojceska *et al.* (2009).

Las dimensiones de largo, ancho y espesor, se midieron empleando un calíper (Mutitoyo, Japón), según lo establecido por el International Plant Genetic Resources Institute (2001).

La actividad de agua fue determinada empleando un higrómetro (AQUA LAB 3TE) tal como lo señalan Nevara *et al.* (2018).

### Determinación del rendimiento de extracción y aceite recuperado

Se calculó de acuerdo a lo establecido por Naik *et al.* (2021), tomando como base los resultados de contenido de aceite obtenido después del proceso de extracción y la cantidad de partida de la materia prima utilizada.

$$\text{Rendimiento de extracción (\%)} = \frac{\text{Peso del aceite extraído (g)}}{\text{Peso inicial de semillas (g)}} = 100$$

El porcentaje de aceite recuperado se calculó considerando la cantidad de aceite extraído por prensado en cada tratamiento sobre la cantidad total de aceite que contiene las semillas (determinada por Soxhlet). Para el cálculo se usó la siguiente ecuación, establecida por Ok y Yilmatz (2019):

$$\text{Aceite recuperado (\%)} = \frac{\text{Aceite obtenido por prensado (g)}}{\text{Aceite total contenido en las semillas (g)}} \times 100$$

### Análisis fisicoquímicos del aceite

La humedad, la materia volátil, índice de acidez, índice de peróxido, índice de *p*-anisidina, extinción específica a 232 y 268 nm ( $K_{232}$  y  $K_{268}$ ), índice de refracción (20 °C) y gravedad específica fueron determinados tomando como referencia los procedimientos descritos en la AOCS (1998). El color fue determinado empleando un colorímetro de mano CR-400 (Konica Minolta®, Japón) y expresado mediante las coordenadas de color  $L^*$  (luminosidad),  $a^*$  (rojo-verde) y  $b^*$  (amarillo-azul) siguiendo el procedimiento de Ok y Yilmatz (2019).

### Análisis estadísticos

Los resultados físico-químicos se expresaron como promedio  $\pm$  desviación estándar (DS) de valores analizados por triplicado. Para el diseño experimental se empleó un diseño completamente al azar (DCA), los resultados fueron analizados a través de un análisis de varianza (ANOVA), trabajando con un nivel de significancia de 5% ( $\alpha = 0,05$ ). Para los factores

significativos se realizó la prueba *post hoc* de Tukey para determinar diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los niveles para cada factor. Se empleó el programa estadístico STATGRAPHICS® 19.2.01 Centurión (Startpoint Technologies Inc. USA). Adicionalmente, se utilizó el análisis de componentes principales (PCA) para examinar las características físico-químicas como clasificadores de los métodos de extracción, mediante el programa estadístico de código R (versión 4.1.2), y las librerías: `library(factoextra)` y `library(factoMineR)`.

## Resultados

### Características físico-químicas de las semillas enteras

Las características físico-químicas de las semillas enteras de metohuayo se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Características físico-químicas de las semillas de metohuayo

Mediciones	Valores <sup>1</sup>
Humedad (%)	6,12 $\pm$ 0,62
Proteína (%N x 6,25)	17,14 $\pm$ 0,16
Grasa (%)	40,49 $\pm$ 0,07
Fibra cruda (%)	9,39 $\pm$ 0,05
Ceniza (%)	2,67 $\pm$ 0,19
Carbohidratos (%)	24,19 $\pm$ 0,15
Materia orgánica (%)	97,33 $\pm$ 0,18
Valor energético (kcal)	529,73 $\pm$ 1,08
Color de semilla	
$L^*$	29,3 $\pm$ 2,01
$a^*$	9,7 $\pm$ 1,21
$b^*$	18,4 $\pm$ 3,20
Dimensiones (cm)	
Largo	2,11 $\pm$ 1,33
Ancho	1,82 $\pm$ 1,56
Espesor	1,43 $\pm$ 1,21
Actividad de agua (25 °C)	0,34 $\pm$ 0,08

<sup>1</sup> Expresados como el promedio  $\pm$  DS

Respecto al color, las semillas presentaron valores de  $L^*$  correspondiente a variedades claras y los valores de  $a^*$  y  $b^*$  indican la presencia de tonos cremas y amarillos, característicos en semillas maduras. Los resultados de largo, ancho y espesor muestran que las semillas corresponden al tamaño superior a las de leguminosas. El valor de actividad de agua se encuentra dentro del rango establecido para semillas secas y la grasa con 40,49%, representa el mayor componente.

### Rendimiento de extracción y aceite recuperado

Los resultados reportados en la Figura 3 muestran que el mayor rendimiento se obtuvo por el método de prensado en expeller, donde el tratamiento a 50 °C (39,18%) resultó superior en 1,64 veces respecto al

obtenido por prensado hidráulico (23,81%), que fue el tratamiento con el valor más bajo. La misma tendencia se observó en el aceite recuperado donde el prensado en expeller a 50 °C obtuvo el valor más elevado y el prensado hidráulico el más bajo, con valores de 96,85% y 58,81%, respectivamente.

### Características físico-químicas del aceite

Los resultados reportados en la Tabla 2, indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos para la humedad y materia volátil del aceite, mientras que los valores correspondientes al índice de refracción no presentaron diferencias significativas ( $p = 0,802$ ), con

medias de 1,47 para todos los tratamientos. Asimismo, no se evidenciaron diferencias significativas ( $p = 0,162$ ) respecto a la gravedad específica, con valores que oscilan entre 0,91 – 0,92 g/mL.

Respecto al color, se halló diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos correspondientes a los indicadores de la escala CIELab, donde los valores de  $L^*$  presentan una luminosidad baja con valores que van de 34,72 a 36,51 propios de un color claro, mientras que  $a^*$  presenta valores que van de -0,16 a -1,40 que se desplazan hacia tonos verdes y en  $b^*$  se observan valores que van de 2,86 a 5,29 propios de un color amarillo claro.

**Tabla 2.** Características físico-químicas del aceite de Metohuayo

Parámetro	Prensado Hidráulico	Prensado en expeller		
		50°C	70°C	90°C
Estado a temperatura ambiente	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido
Humedad y materia volátil (%)	0,03 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,19 ± 0,03 <sup>b</sup>	0,20 ± 0,03 <sup>b</sup>	0,09 ± 0,01 <sup>c</sup>
Índice de refracción (20°C)	1,47 ± 0,00 <sup>a</sup>			
Gravedad específica (g/mL)	0,92 ± 0,00 <sup>a</sup>	0,91 ± 0,00 <sup>a</sup>	0,92 ± 0,00 <sup>a</sup>	0,91 ± 0,00 <sup>a</sup>
Color				
$L^*$	36,51 ± 0,20 <sup>a</sup>	34,78 ± 0,29 <sup>b</sup>	34,72 ± 0,39 <sup>b</sup>	35,37 ± 0,38 <sup>c</sup>
$a^*$	-1,40 ± 0,09 <sup>a</sup>	-0,13 ± 0,01 <sup>b</sup>	-0,39 ± 0,22 <sup>c</sup>	-0,62 ± 0,14 <sup>c</sup>
$b^*$	5,29 ± 0,23 <sup>a</sup>	2,96 ± 0,54 <sup>b</sup>	2,86 ± 0,59 <sup>b</sup>	4,25 ± 0,60 <sup>c</sup>
Índice de acidez (mg/g)	2,11 ± 0,04 <sup>a</sup>	3,64 ± 0,07 <sup>b</sup>	3,65 ± 0,02 <sup>b</sup>	3,65 ± 0,06 <sup>b</sup>
Índice de peróxido (meqO <sub>2</sub> /kg aceite)	2,66 ± 0,58 <sup>a</sup>	4,64 ± 0,56 <sup>b</sup>	4,97 ± 0,99 <sup>b</sup>	4,31 ± 0,57 <sup>b</sup>
Índice de p-anisidina	0,50 ± 0,94 <sup>a</sup>	0,58 ± 0,30 <sup>a</sup>	1,89 ± 0,58 <sup>b</sup>	4,29 ± 0,53 <sup>c</sup>
Extinciones específicas				
K <sub>232</sub>	2,05 ± 0,51 <sup>a</sup>	2,25 ± 0,30 <sup>b</sup>	2,21 ± 0,38 <sup>b</sup>	2,30 ± 0,05 <sup>b</sup>
K <sub>268</sub>	0,13 ± 0,00 <sup>a</sup>	0,21 ± 0,05 <sup>b</sup>	0,04 ± 0,03 <sup>c</sup>	0,05 ± 0,03 <sup>c</sup>

Resultados expresados como el promedio ± DS.

Letras diferentes dentro de una misma fila indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre medias.

Los valores de índice de acidez y peróxido son parámetros comúnmente usados en la especificación de la calidad de los aceites. Al respecto, el aceite extraído mediante prensado hidráulico presentó menor acidez y peróxidos ( $p < 0,05$ ) que los aceites extraídos mediante prensado en expeller.

Se observó un aumento significativo ( $p < 0,05$ ) en los valores del índice de p-anisidina a medida que la temperatura aumenta gradualmente, cuando las semillas se prensaron a 70 y 90 °C.

Los valores de extinciones específicas (K<sub>232</sub> y K<sub>268</sub>) correspondientes a los dos métodos de extracción presentan diferencia significativa ( $p < 0,05$ ). Se ve para el caso de K<sub>232</sub> un aumento de valores con el incremento de la temperatura de extracción, efecto no evidenciado para K<sub>268</sub>.

### Discusión

#### Características físico-químicas de las semillas enteras

Teniendo en cuenta lo determinado en esta investigación y comparando con lo reportado por Padilla *et al.* (1996), notamos que los porcentajes de grasa y fibra son superiores a 33,85 % y 3,72 %, respectivamente; mientras que la proteína y las cenizas presentan valores muy cercanos a 17,16 % y 2,77 %, respectivamente. Así mismo, se evidencia un valor inferior a 34,20 %, correspondiente a carbohidratos. Estas diferencias podrían explicarse por la influencia de diversos factores, tales como la variedad o el cultivo empleado, las condiciones geográficas y/o ambientales del lugar de crecimiento, las prácticas agronómicas empleadas para su cultivo, las condiciones de almacenamiento y la etapa de madurez (Bekhit *et al.*, 2018; Ebrahimian *et al.*, 2019).

Asimismo, el porcentaje de grasa presentado por las semillas de metohuayo ( $40,49 \pm 0,07$  %), se encuentran dentro del rango hallado en otras semillas oleaginosas como girasol y moringa con valores de 39 – 47 % y 25 – 44% respectivamente (Rosa *et al.*, 2009; Chung *et al.*, 2013; Barakat y Ghazal, 2016; Stadlander y Becker, 2017 y Fernández *et al.*, 2018).

En cuanto a las dimensiones de las semillas se encontraron valores muy cercanos a los reportados por Rincón *et al.* (2020), quienes obtuvieron valores de 2,75 cm, 2,18 cm y 1,6 cm para el largo, ancho y espesor de las semillas, respectivamente.

### Rendimiento de extracción y aceite recuperado

Se observó un mayor rendimiento y aceite recuperado con el método de prensado en expeller en comparación con el prensado hidráulico; sin embargo, se observó una disminución significativa conforme aumentó la temperatura de 50 a 90 °C. Como se aprecia en la Figura 3, la temperatura del prensado en expeller presenta una influencia en estos dos indicadores. No obstante, el impacto varió con los niveles asignados; así, cuando la temperatura de prensado aumentó de 50 a 90 °C, el rendimiento y recuperación de aceite disminuyeron en mayor magnitud respecto al aumento de temperatura de 50 a 70 °C.

Sobre lo mencionado, Mridula *et al.* (2015) reportaron una tendencia a la reducción en el rendimiento y recuperación de aceite al aumentar la temperatura de prensado (80, 100 y 120 °C) en semillas de crambé; por su parte, Silvia *et al.* (2012) evidenciaron la misma tendencia en semillas de nigella prensadas a 50, 60, 70, 80, 100 °C. Al respecto, Savoie *et al.* (2012) sostienen que este fenómeno puede deberse a que el aumento de temperatura provoca un ablandamiento excesivo de los tejidos, trayendo consigo la compactación de las semillas, que bajo esas condiciones tienden a retener aceite y disminuir la fricción, lo cual disminuye la efectividad del prensado y, en consecuencia, el rendimiento.

Los valores de recuperación de aceite obtenidos con las semillas de metohuayo prensadas en expeller, resultaron superiores a 79,6 % (Martínez *et al.*, 2013), 82,91 % (Mridula *et al.*, 2015) y 74,2 % (Martínez *et al.*, 2017) para muestras de almendra, linaza y sésamo, respectivamente.

### Características físico-químicas del aceite

Los valores de humedad y materia volátil determinados oscilan en el rango de 0,03 a 0,20 %, no superan al valor máximo de 0,20 % permitido por el *Codex Alimentarius* (2021). Al respecto, Vargas *et*

*al.* (2020), sostienen que la presencia de humedad en el aceite podría deberse a que la presión ejercida en los métodos de prensado hidráulico y por expeller pudieron romper las estructuras celulares para la liberación de agua y su posterior emulsificación en el aceite. Por su parte Choo *et al.* (2007) señala que los valores bajos de humedad son adecuados para evitar el desarrollo de rancidez hidrolítica, es decir, disminuye la posibilidad de hidrólisis de los ácidos grasos durante la manipulación, procesamiento y almacenamiento del aceite.

Respecto al índice de refracción, los valores obtenidos (1,47) resultaron mayores a lo reportado por Pascual-Chagman *et al.* (2021), quienes obtuvieron 1,4690 en aceite de *lupinus mutabilis* por prensado en expeller. Igualmente, resultó mayor a lo reportado por Vargas *et al.* (2020), quienes hallaron valores de 1,4620 y 1,4640 en aceite de palta Hass obtenido mediante prensado hidráulico y expeller, respectivamente. Esto posiblemente se deba a la presencia de ácidos grasos insaturados presentes en mayor proporción en el aceite de metohuayo, ya que el índice de refracción aumenta por el factor mencionado, así como con la longitud de la cadena (Decker *et al.*, 2017); además de estar relacionado con el grado de oxidación y el tratamiento térmico (Krumreich *et al.*, 2018). De manera que los valores obtenidos indican que los cambios causados por los diferentes tratamientos y cambios de temperatura no fueron suficientes para modificar el comportamiento óptico de las muestras de aceite. Al respecto, Kapoor *et al.* (2020) menciona que la mayoría de los aceites vegetales tienen un índice de refracción en el rango de 1,44 a 1,47. El aceite de palma de naturaleza saturada tiene un índice de refracción más bajo (1,44 a 1,45) en comparación con otros aceites vegetales (1,46 a 1,48).

Los valores de gravedad específica a 20°C (0,91 – 0,92 g/mL) resultaron similares a los obtenidos por Cisneros y Díaz (2006) quienes determinaron valores de 0,9171 y 0,9158 en aceite extraído por solventes y prensado, respectivamente; a su vez, son similares en el aceite de oliva virgen (0,91 – 0,92) (*Codex Alimentarius*, 2021). Al respecto Lewis (1993), menciona que la gravedad específica es un parámetro que está directamente relacionado con el peso molecular e indirectamente relacionado con el grado de insaturación de la muestra. Se puede inferir que el aceite con valores altos en este parámetro presenta un alto grado de insaturación, reforzando lo mencionado por Alfaro *et al.* (2000), quienes sostienen que el aceite de metohuayo se caracteriza por ser rico en ácidos grasos insaturados (77,85%), especialmente en ácido linoléico (75,13%).

Aunque los valores de acidez determinados en los dos métodos de extracción se encuentran por

debajo de lo establecido por la norma del *Codex Alimentarius* (2021) para aceites prensados en frío y vírgenes, no regulados por normas individuales, que es de 4 mg NaOH/g aceite, la acidez pudo ser afectada por la temperatura del procesamiento correspondiente al prensado en expeller; por un lado, como lo manifiestan Rodrigues *et al.* (2012), este puede participar como fuente de calor en la catálisis de la hidrólisis química de los triglicéridos; y por otro lado, según lo manifestado por Mraicha *et al.* (2010), la temperatura confiere condiciones ideales para la actividad de las lipasas endógenas. Asimismo, Muangrat *et al.* (2018) reportaron que la temperatura de prensado no tuvo ninguna influencia sobre la acidez del aceite de semillas de sacha inchi, de manera que al aumentarla de 60 a 90 °C los valores de índice de acidez no se vieron afectados.

Los valores de peróxidos obtenidos por prensado hidráulico y prensado en expeller a 50, 70 y 90 °C son inferiores al límite máximo (15 meqO<sub>2</sub>/kg) establecido por el *Codex Alimentarius* (2021). En base a los valores obtenidos y al concepto señalado por Vargas *et al.* (2020) que sostienen que el índice de peróxido determina el contenido de hidroperóxidos y ofrece una medida de la oxidación de los ácidos grasos insaturados, podemos afirmar que el aceite obtenido por prensado hidráulico presenta un menor grado de oxidación de sus ácidos grasos insaturados, a diferencia del prensado por expeller.

El mínimo valor de *p*-anisidina se obtuvo por prensado hidráulico (0,50), mientras que el máximo se consiguió por prensado en expeller a 90 °C (4,29). Actualmente, no existen normas que establezcan un límite máximo permitido para este índice en aceites vegetales que garantice su calidad; sin embargo, Mattäus (2010) indica que, como regla general, en la industria se usa un límite de 10 para el valor de *p*-anisidina para los aceites refinados. De esta manera se puede observar que los valores obtenidos en los diferentes tratamientos están por debajo de dicho límite. Al mismo tiempo, vemos que la formación de compuestos secundarios se incrementa con la temperatura.

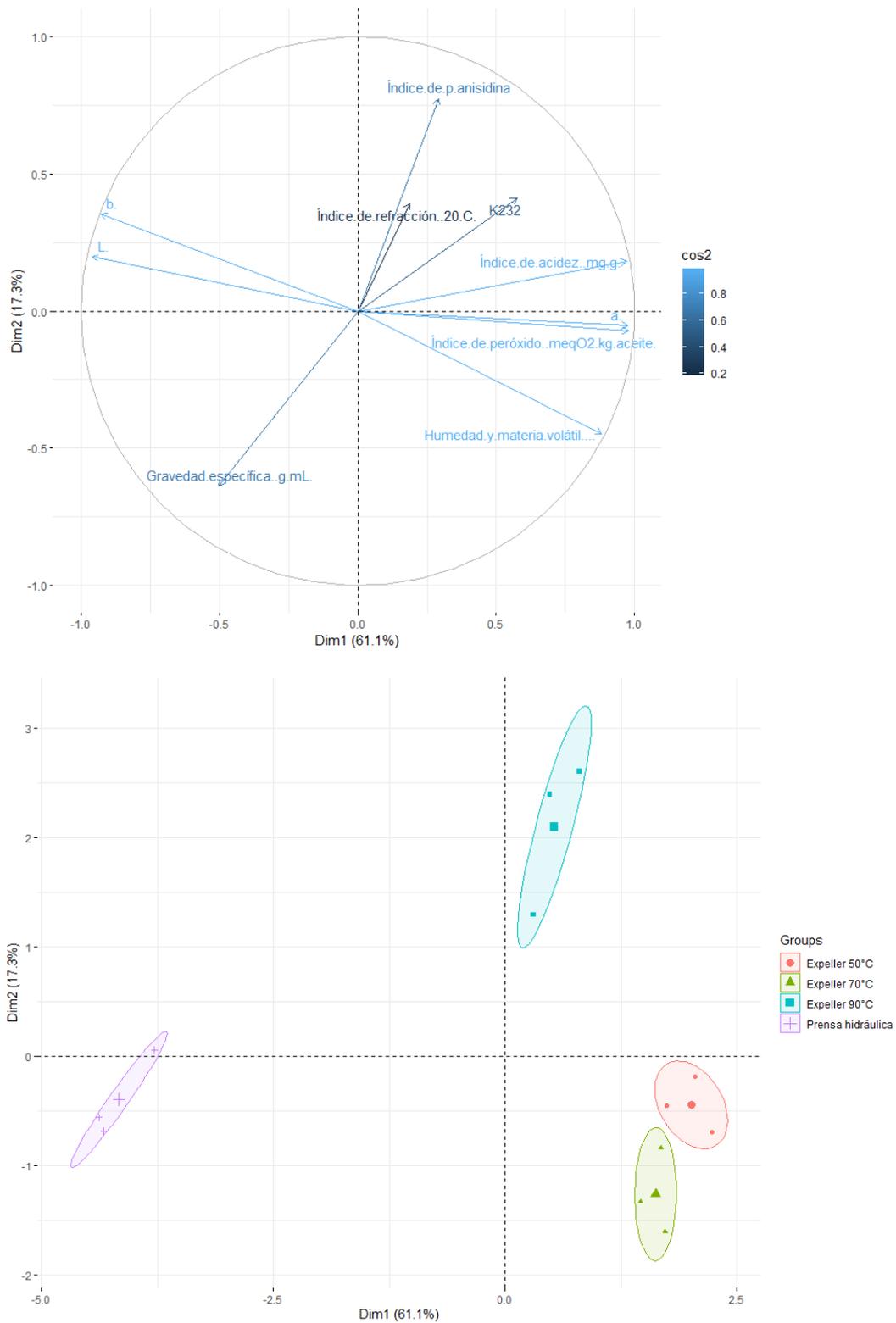
Los valores obtenidos con el coeficiente  $K_{232}$ , concuerdan con lo reportado por Martínez *et al.* (2008), quienes demostraron que la temperatura fue un factor importante que influyó significativamente en el aceite de semilla de nuez. Al respecto, sólo existen normas para el aceite de olivo que establecen los límites máximos permitidos para esta variable, los mismos que según el *Codex Alimentarius* (2021) no pueden ser mayores

de 2,50 en aceites extra vírgenes y de 2,60 en aceites vírgenes. Caso similar para el coeficiente  $K_{268}$ , teniendo como límite máximo permitido un valor no mayor a 0,22 en aceites de oliva extra vírgenes y 0,20 en aceites de oliva vírgenes. Es así que los valores obtenidos para el aceite de metohuayo obtenido mediante los dos métodos, se encuentran por debajo de dichos límites.

Como se discutió anteriormente las condiciones de extracción influyeron en las características físico-químicas del aceite de metohuayo. Esto se puede observar al realizar el análisis de componentes principales (PCA, Figura 4), en el cual se muestra claramente que el conjunto de características físico-químicas permiten el reconocimiento y diferenciación de los aceites obtenidos en relación con la temperatura. El primer componente principal (PC1) permitió explicar la mayor parte de la variabilidad de los datos (61,1%), encontrándose altas correlaciones positivas en PC1 con la humedad y la materia volátil (0,882), índice de acidez (0,972), índice de peróxidos (0,978), mientras que se encontró altas correlaciones negativas entre PC1 y *L*\* (-0,959) y *b*\* (-0,928). Por otro lado, el componente principal dos (PC2) representó 17,3% de la variabilidad, y se asoció con una relación directamente proporcional con el índice de *p*-anisidina (0,773), mientras que la relación de PC2 fue inversamente proporcional con la variable gravedad específica (0,637).

Como se puede apreciar, los métodos de extracción se dividieron en dos grupos, uno correspondiente al prensado hidráulico y el otro al prensado en expeller. Todo lo mencionado permite indicar que los diferentes tratamientos empleados para la extracción de aceite de semillas de metohuayo tuvieron efectos mínimos en los parámetros físico-químicos de calidad analizados. En general, PCA permitió inferir que este tipo de datos puede usarse como una herramienta de reconocimiento preliminar para distinguir el efecto de los métodos de extracción.

Teniendo en cuenta lo descrito por Escobar-Mamani *et al.* (2020), los resultados aportan de manera significativa al desarrollo tecnológico con el fin de consolidar e incrementar el cultivo y el desarrollo de productos, en el marco de actividades sostenibles y sustentables que no afecten a las condiciones ambientales de la región, consolidando las cadenas de valor sobre el aprovechamiento de un recurso oriundo de los Andes Amazónicos, que de acuerdo con lo mencionado por Haller y Branca (2020) puede estar considerado como montaña.



**Figura 4.** Mapa de dos factores de variables analizadas en los diferentes extractos de aceite (arriba) y proyección por tipo de tratamiento (abajo).

## Conclusiones

El estudio demostró el efecto de los métodos de extracción sobre las características físico-químicas del aceite de semillas de metohuayo.

Se hizo evidente que, dentro de la composición química, las semillas de metohuayo son superiores en contenido de grasa respecto a otras semillas oleaginosas.

El aceite extraído mediante prensado hidráulico mostró mejores índices de calidad en comparación con el aceite obtenido por prensado en expeller, si bien ambos métodos arrojaron valores dentro de los rangos establecidos por el *Codex Alimentarius* fueron notorios valores superiores de rendimiento y de aceite recuperado por prensado en expeller a 50 °C.

El análisis del conjunto de características físico-químicas permitió el reconocimiento y contraste de los aceites obtenidos en relación con la temperatura, mediante PCA; y fue posible ver las consecuencias de los diferentes métodos de extracción aplicados en las variables respuesta analizadas.

Estos resultados señalan a la extracción de aceite mediante prensado en expeller como un proceso tecnológico eficiente y conveniente desde el punto de vista ecológico para obtener aceite de metohuayo de calidad aceptable, y reforzar el aprovechamiento de las semillas producidas en los Andes tropicales, conforme a las nuevas exigencias del mercado.

## Referencias

- Alfaro, M., Padilla, C. y Pérez, M. (2000). *Caryodendron orinocense* ("nuez de Barinas") oil: Tocopherol content and use in cosmetics. *International Journal of Cosmetic Science*, 22, 335–340. <https://doi.org/10.1046/j.1467-2494.2000.00034.x>
- AOAC International. (2016). Official methods of analysis of AOAC International. 20th ed. AOAC International, Rockville, MD.
- AOCS – American Oil Chemists Society. (1998). Official methods and recommended practices of the AOCS. 5th ed. AOCS Press, II.
- Barakat, H. y Ghazal, G. (2016). Physicochemical Properties of *Moringa oleifera* Seeds and Their Edible Oil Cultivated at Different Regions in Egypt. *Food and Nutrition Sciences*, 7 (6): 472–484. DOI: [10.4236/fns.2016.76049](https://doi.org/10.4236/fns.2016.76049)
- Bekhit, E., Shavandi, A., Jodjaja, T., Birch, J., Teh, S., Ahmed, I. y Bekhit, A. (2018). Flaxseed: Composition, detoxification, utilization, and opportunities. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 13: 129–152. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2017.11.017>
- Choo, W., Birch, J. y Dufour, J. (2007). Physicochemical and quality characteristics of cold-pressed flaxseed oils. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20 (3-4): 202–211. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.12.002>
- Chung, K., Shin, K., O. Hwang, H. y Choi, K. (2013). Chemical composition of nuts and seeds sold in Korea. *Nutrition Research and Practice*, 7 (2): 82–88. doi: 10.4162/nrp.2013.7.2.82
- Cisneros, D. y Díaz, A. (2006). Obtención de aceite de la nuez *Caryodendron orinocense* originaria del departamento del Caquetá en la planta piloto de la Universidad de La Salle. Universidad de La Salle, Facultad de Ingeniería de Alimentos. Bogotá. Colombia. <https://bit.ly/3v3K8IX>
- Codex Alimentarius* (2021). Norma para grasas y aceites comestibles no regulados por normas individuales: CODEX STAN 19-1981. <https://bit.ly/3xKItDI>
- Decker, E., McClements, D., Bourlieu-Lacanal, C., Durand, E., Figueroa, M., Lecomte, J. y Villeneuve, P. (2017). Hurdles in predicting antioxidant efficacy in oil-in-water emulsions. *Trends in Food Science and Technology*, 67: 183–194. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01605571>
- de Jesus, S y Filho, R. (2020). Recent advances in lipid extraction using green solvents. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 133. 110289. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110289>
- Duke, J. (2017). Handbook of Nuts; CRC Press: Boca Raton, FL, USA; ISBN 9781351071130. <https://doi.org/10.1201/9781351071130>
- Ebrahimian, E., Seyyedi, S., Byborde, A. y Damalas, C. (2019). Seed yield and oil quality of sunflower, safflower, and sesame under different levels of irrigation water availability. *Agricultural Water Management*, 218: 149–157. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.03.031>

- Escobar-Mamani, F., Branca, D. y Haller, A. (2020). Investigación de montaña sobre y para la región andina. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 22(4), 311–312. <https://doi.org/10.18271/ria.2020.191>
- Fernández, J., Pascual, G., Silva, M., Salvá, B., Guevara, A. y Encina, C. (2018). Efecto del tratamiento enzimático de la semilla de moringa (*Moringa oleifera*) sobre las características físico-químicas del aceite obtenido por extracción con prensa expeller. *Scientia Agropecuaria*, 9 (3): 371 – 380. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.03.08>
- Ferreira, M., Lotte, R., D'Elia, F., Stamatopoulos, C., Kim, D. y Benjamin, A. (2021). Accurate mapping of Brazil nut trees (*Bertholletia excelsa*) in Amazonian forests using WorldView-3 satellite images and convolutional neural networks. *Ecological Informatics*, 63: 101302. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101302>
- GBIF Backbone Taxonomy. (2022). *Caryodendron orinocense* Karst. Recuperado de <https://doi.org/10.15468/39omei>
- Greffa, J., Barrionuevo, A., Vilcacundo, E. y Carrillo, W. (2018). Gastrointestinal digestion of kahai protein concentrate (*Caryodendron orinocense* Karst). *Asian J Pharm Clin Res*, 11(6), 397–400. <http://dx.doi.org/10.22159/ajpcr.2018.v11i6.20374>
- Haller, A. y Branca, D. (2020). Montología: una perspectiva de montaña hacia la investigación transdisciplinaria y el desarrollo sustentable. *Journal of High Andean Research*, 22(4), 313–332. <https://doi.org/10.18271/ria.2020.193>
- Hussein, A., Hussein, M., Salama, M., Hamed, I., Fouda, K. y Mohamed, R. (2018). Formulation and Evaluation of Functional Cookies for Improving Health of Primary School Children. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 21, 401–408. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2018.401.408>
- International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI). (2001). *Phaseolus vulgaris* descriptors. Recuperado de <https://bit.ly/3MnbzNe>
- Kapoor, S., Gandhi, N., Tyagi, S., Kaur, A. y Mahajan, B. (2020). Extraction and characterization of guava seed oil: A novel industrial byproduct. *LWT - Food Science and Technology* 132, 109882. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109882>
- Konopka, I., Roszkowska, B., Czaplicki, S. y Tańska, M. (2016). Optimization of pumpkin oil recovery by using aqueous enzymatic extraction and comparison of the quality of the obtained oil with the quality of cold-pressed oil. *Food Technol. Biotechnol*, 54 (4): 413–420. doi: 10.17113/ftb.54.04.16.4623
- Krumreich, F., Borges, C., Mendonça, C., Jansen-Alves, C. y Zambiasi, R. (2018). Bioactive compounds and quality parameters of avocado oil obtained by different processes. *Food Chemistry*, 257: 376–381. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.048>
- Leal, M., Alves, R. y Hanazaki, N. (2018). Knowledge, use, and disuse of unconventional food plants. *Journal Ethnobiology Ethnomedicine*, 14:6. <https://doi.org/10.1186/s13002-018-0209-8>
- Lewis, M. J. 1993. Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España. 514 pp. <https://bit.ly/3vDJvOU>
- Lopes, G., Ghazani, S., Corazza, M., Marangoni, A. y Hoffmann, R. (2018). Assessment of subcritical propane, supercritical CO<sub>2</sub> and Soxhlet extraction of oil from sapucaia (*Lecythis pisonis*) nuts. *The Journal of Supercritical Fluids*, 133, 122–132. <http://dx.doi.org/10.1016/j.supflu.2017.10.003>
- Martínez, M., Bordón, M., Lallanas, R., Ribotta, P. y Maestri, D. (2017). Optimization of Sesame Oil Extraction by Screw-Pressing at Low Temperature. *Food Bioprocess and Technology*, 10 (6): 1113–1121. DOI: 10.1007/s11947-017-1885-4
- Martínez, M., Mattea, M. y Maestri, D. (2008). Pressing and supercritical carbon dioxide extraction of walnut oil. *Journal of Food Engineering*, 88 (3): 399–404. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.02.026>
- Martínez, M., Penci, M., Marin, M., Ribotta, P. y Maestri, D. (2013). Screw press extraction of almond (*Prunus Dulcis* (Miller) D.A. Webb): Oil recovery and oxidative stability. *Journal of Food Engineering*, 119 (1): 40–45. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.05.010>
- Matthäus, B. (2010). Oxidation of edible oils. En E.A Decker; R.J Elias; D.J. McClements. Oxidation in foods and beverages and antioxidant applications (p. 183-238). Cambridge, Reino Unido: Woodhead publishing. <https://bit.ly/3EzaDmo>

- Medeiros de Azevedo, W., Ferreira, L., Alves, M., Tribuzy de Magalhães, A., Florentino da Silva, K. y Kelly de Araujo, N. (2020) Physicochemical characterization, fatty acid profile, antioxidant activity and antibacterial potential of cacay oil, coconut oil and cacay butter. *PLoS ONE*, 15(4): e0232224. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232224>
- Mraicha, F., Ksantini, M., Zouchb, O., Ayadi, M., Sayadi, S. y Bouaziz, M. (2010). Effect of olive fruit fly infestation on the quality of olive oil from Chemlali cultivar during ripening. *Food and Chemical Toxicology*, 48 (11): 3235–3241. DOI: 10.1016/j.fct.2010.08.031
- Mridula, D., Barnwal, P. y Singh, K. (2015). Screw pressing performance of whole and dehulled flaxseed and some physico-chemical characteristics of flaxseed oil. *Journal of Food Science and Technology*, 52 (3), 1498–1506. doi: 10.1007/s13197-013-1132-6
- Muangrat, R., Veeraphong, P. y Chantee, N. (2018). Screw press extraction of Sacha inchi seeds: Oil yield and its chemical composition and antioxidant properties. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42 (6): e13635. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13635>
- Naik, M., Natarajan, V., Rawson, A., Rangarajan, J. y Manickam, L. (2021). Extraction kinetics and quality evaluation of oil extracted from bitter gourd (*Momardica charantia* L.) seeds using emergent technologies. *LWT - Food Science and Technology*, 140, 110714. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110714>
- Nevara, G., Yea, C., Karim, R., Muhammad, K. y Ghazali, H. (2018). Effects of moistheat treatments on color improvement, physicochemical, antioxidant, and resistant starch properties of drum-dried purple sweet potato powder. *Journal of Food Process Engineering*, 42 (1): e12951. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12951>
- Ok, S. y Yilmaz, E. (2019). The Pretreatment of the Seeds Affects the Quality and Physicochemical Characteristics of Watermelon Oil and Its By-Products. *J Am Oil Chem Soc*. 96: 453–466. <https://doi.org/10.1002/aocs.12191>
- Padilla, F., Alvarez, M. y Alfaro, M. (1996). Functional properties of barinas nut flour (*Caryodendron orinocense* Karst., Euphorbiaceae) compared to those of soybean. *Food Chemistry*, 57, 191–196. <https://bit.ly/3v1GUPW>
- Pascual-Chagman1, G., Santa-Cruz-Olivos, J., Hidalgo, A., Benavente, F., Pérez-Camino, M., Sotelo-Mendez, A., Paucar-Menacho, L. y Encina-Zelada, C. (2021). Aceite de Lupinus mutabilis obtenido por prensa expeller: Análisis de rendimiento, caracterización físicoquímica, capacidad antioxidante, ácidos grasos y estabilidad oxidativa. *Scientia Agropecuaria*, 12 (2): 219–227. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.025>
- Pérez, M., Alfaro, M. y Padilla, F. (1999). Evaluation of ‘nuez de Barinas’ (*caryodendron orinocense*) oil for possible use in cosmetic. *International Journal of Cosmetic Science*, 21, 151–158. <https://doi.org/10.1046/j.1467-2494.1999.196565.x>
- Radice, M., Viafara, D., Neill, D., Asanza, M., Sachetti, G., Guerrini, A. y Maietti, S. (2014). Chemical characterization and antioxidant of Amazonian (Ecuador) *Caryodendron orinocense* Karst. and *Bextris gasipaes* Kunth Seed oils. *Journal of Oleo Science*, 63,(12) 1243-1250. DOI: [10.5650/jos.ess14007](https://doi.org/10.5650/jos.ess14007)
- Rincón, C., Tejada, M. y Jiménez, J. (2020). Design and Analysis of an Automatic Shell Cracking Machine of Metohuayo (“*Caryodendron orinocense* Karst”) with a Capacity of 50 kg/h. *Agriculture*, 10 (11), 537. <https://doi.org/10.3390/agriculture10110537>
- Rodrigues, N., Malheiro, R., Casal, S., Asensio-S-Manzanera, M., Bento, A. y Pereira, J. (2012). Influence of spike lavender (*Lavandula latifolia* Med.) essential oil in the quality, stability and composition of soybean oil during microwave heating. *Food and Chemical Toxicology*, 50: 2894–2901. DOI: 10.1016/j.fct.2012.05.020
- Rosa, P., Antoniassi, R., Freitas, S., Bizzo, H., Zanotto, D., Oliveira, M. y Castiglioni, V. (2009). Chemical composition of Brazilian sunflower varieties. *Helia*, 32(50): 45–155. <https://doi.org/10.2298/hel0950145r>
- Satriana, S., Supardan, M., Arpi, N. y Mustapha, W. (2019). Development of methods used in the extraction of avocado oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 121, 1800210. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201800210>
- Savoire, R., Lanoisellé, J. y Vorobiev, E. (2012). Mechanical continuous oil expression from oilseeds: A Review. *Food Bioprocess Technology*,

6 (1): 1–6. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0947-x>

- Silvia, D., Masturah, M. y Bhat, R. (2012). The effects of different extraction temperatures of the screw press on proximate compositions, amino acid contents and mineral contents of *Nigella sativa* meal. *American Journal of Food Technology*, 7 (4): 180–191. DOI: 10.3923/ajft.2012.180.191
- Stadtlander, T. y Becker, K. (2017). Proximate composition, amino and fatty acid profiles and element compositions of four different Moringa species. *Journal of Agricultural Science*, 9(7): 46–57. DOI: 10.5539/jas.v9n7p46
- Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., y Ibanoglu, S. (2009). The effect of extrusion cooking using different water feed rates on the quality of ready-to-eat snacks made from food by-products. *Food Chemistry*, 114(1): 226–232. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.043>.
- Ugarte-Espinoza, P., Delgado-Soriano, V., Estivi, L., Hidalgo, A. y Pascual-Chagman, G. (2021). Goldenberry (*Physalis peruviana* L.) seed oil: press extraction, optimization, characterization, and oxidative stability. *Italian Journal of Food Science*, 33 (4): 107–117. <https://doi.org/10.15586/ijfs.v33i4.2123>
- Vargas, M., Gutarra, H., Delgado-Soriano, V., Cortés-Avendaño, P. y Elías, C. (2020). Ácidos grasos y criterios de calidad del aceite de palta obtenido mediante tres sistemas de extracción libres de solvente. *Agroind. sci.* 10 (1): 71–77. <http://dx.doi.org/10.17268/agroind.sci.2020.01.10>
- Yate, A., Narváez, P., Orjuela, A., Hernández, A. y Acevedo, H. (2020). A systematic evaluation of the mechanical extraction of *Jatropha curcas* L. oil for biofuels production. *Food and Bioprocess Processing*, 122, 72–81. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.04.001>