

# Composición química de la torta de *Plukenetia volubilis* L. (sacha inchi) tratada por métodos físicos

## Chemical composition of *Plukenetia volubilis* L. (sacha inchi) cake treated with physical methods

Susan Kelly Hernández Lemus <sup>1,3</sup>, Danae Herrera Valera   <sup>1,4</sup>, Madeleidy Martínez-Pérez   <sup>1,5</sup>, Yaneisy García Hernández  <sup>1,6</sup>, Hilda Herrera Galindo   <sup>1,7</sup>, Idania Scull Rodríguez   <sup>1,8</sup>, Mabel Villanueva Domínguez   <sup>2,9</sup>.

<sup>1</sup>Instituto de Ciencia Animal. San José de las Lajas, Cuba. <sup>2</sup>Centro de Investigaciones en Plantas Proteicas y Productos Bionaturales (CIPB). La Habana, Cuba. <sup>3</sup>✉ susankelly@ica.edu.cu; <sup>4</sup>✉ herreradanae241@gmail.com; <sup>5</sup>✉ madeleidymartinez@gmail.com; <sup>6</sup>✉ yaneisyg@ica.edu.cu; <sup>7</sup>✉ ditaherre06@gmail.com; <sup>8</sup>✉ idascull@ica.edu.cu; <sup>9</sup>✉ mvillanueva@bionaturasm.cu

DOI: <https://doi.org/10.15446/acag.v73n4.119407>

2024 | 73-4 p 393-398 | ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118 | Rec.: 2025-03-18 Acep.: 2025-09-21

## Resumen

El presente trabajo se desarrolló con el objetivo de determinar la composición química de la torta de *Plukenetia volubilis* L. (sacha inchi) tratada por métodos físicos. Los tratamientos consistieron de la torta cruda (control); un tratamiento de remojo en agua por 24 y otro por 48 horas sin ningún otro tipo de intervención; y otros 2 tratamientos, en los que, después de transcurridos estos tiempos, se lavaron y cocieron por 30 minutos; y, por último, un tratamiento de tostado. Se determinaron la materia seca (MS), la proteína bruta, las cenizas, el contenido de fibra detergente ácida (FDA) y la celulosa. De igual manera, se analizó cualitativamente el contenido de compuestos secundarios. Los valores de MS fueron superiores para la torta tostada (99.56 %) en relación con el control (94.42 %); el resto de los tratamientos no mostraron diferencias entre sí, ni con los 2 anteriores. La proteína bruta no difirió entre tratamientos y los valores fueron elevados. El contenido de cenizas disminuyó en todos los tratamientos (3.39 - 4.37 %) con respecto al control (5.20 %) y la torta tostada (5.20 %), que no difirieron entre sí. Por otro lado, se observó un aumento de la fibra detergente ácida (15.64 - 22.81 %) y de la celulosa (12.63 - 18.74 %) en todos los tratamientos con respecto al control (FDA: 9.38 %; celulosa: 6.29 %). Al emplear métodos físicos en la torta de sacha inchi, la presencia de saponinas se redujo cualitativamente, así como los grupos aminos con el tostado. Se concluye que el remojo, la cocción y el tostado influyen en la composición química de la torta de sacha inchi, excepto en el contenido de proteína bruta.

**Palabras clave:** composición bromatológica, metabolitos secundarios, torta de oleaginosa, tratamientos físicos.

## Abstract

The aim of this study was to determine the chemical composition of *Plukenetia volubilis* L. (sacha inchi) cake treated with physical methods. Treatments consisted of raw cake (control); cake soaked in water for 24 and other for 48 hours; and two additional treatments in which, after soaking, the cake was washed and cooked for 30 minutes; and finally, a toasted treatment. Dry matter, crude protein, ash, acid detergent fiber (ADF), and cellulose contents were determined. Secondary compounds were qualitatively analyzed. Dry matter content was highest in the toasted cake (99.56 %) compared to the control (94.42 %), while the other treatments showed no differences among themselves or with respect to these two. Crude protein did not differ among treatments and remained high across all samples. Ash content decreased in all treatments (3.39-4.37 %) compared to the control (5.20 %), except for the toasted cake, which did not differ from the control. An increase in acid detergent fiber (15.64 - 22.81 %) and cellulose (12.63 - 18.74 %) was observed in all treated samples relative to the control (ADF = 9.38 %, cellulose = 6.29 %). The use of physical methods qualitatively reduced the presence of saponins, and toasting also decreased amino group content. It is concluded that soaking, cooking, and toasting modify the chemical composition of sacha inchi cake, except for crude protein content, which remained unchanged.

**Keywords:** Bromatological composition, oilseed cake, physical treatments, secondary metabolites.

## Introducción

Las oleaginosas constituyen uno de los cultivos de mayor producción, investigación y comercialización a nivel mundial (Vichare y Morya, 2024). Sus semillas cosechadas se utilizan en la industria aceitera para la obtención de aceite, a partir de su procesamiento mediante diferentes métodos de extracción (Dellepiane et al., 2023). Entre ellos, los más conocidos son la prensa cilindro y la extracción por solventes. Como resultado de ello se obtiene la torta residual, que se caracteriza generalmente por presentar alto contenido de proteínas y de cenizas (Bárta et al., 2021; Sudik et al., 2024).

En este sentido, Scull et al. (2022) investigaron la torta de *Plukenetia volubilis* L. (sacha inchi), a partir de las semillas cosechadas en el Occidente de Cuba, y posteriormente procesadas en el Centro de Investigaciones en Plantas Proteicas y Productos Bionaturales (CIPB). La torta residual presentó elevado contenido de proteína bruta (54.41 %), niveles moderados de fibra (fibra detergente neutra: 30.97 % y fibra detergente ácida: 11.84 %), y niveles adecuados de cenizas (5.05 %). Sin embargo, se identificó la presencia abundante de algunos metabolitos secundarios, como los terpenoides y los grupos aminos (Cárdenes et al., 2021).

Como alimentos alternativos para animales, las tortas poseen dos inconvenientes principales: la presencia de fibra dietética y de metabolitos secundarios (Vujetić et al., 2025). Estos dos componentes pudieran causar diferentes efectos fisiológicos, que dificultan su uso en la alimentación cuando se encuentran en elevadas concentraciones. Además, limitan el potencial del subproducto, especialmente cuando se emplean altas dosis (Zajac et al., 2021; Vichare y Morya, 2024). De ahí que se hace necesario el estudio de diferentes métodos de procesamiento para que mejore su valor nutritivo y de esta manera se pueda incluir en la dieta de animales monogástricos.

Dentro de los métodos para reducir los metabolitos secundarios y aumentar la biodisponibilidad de los nutrientes está el remojo, la deshidratación, el descascarillado, la germinación, la fermentación, la adición de enzimas exógenas, entre otros (Tharifkhan et al., 2021). Los métodos físicos presentan ventajas con respecto al resto, relacionadas con los bajos costos que generan. Por ejemplo, la deshidratación o el secado, el tostado, la cocción, entre otros métodos que implican calor, requieren de equipos más simples y accesibles como hornos o deshidratadores (Bermeo y Pallo, 2022). Si se toma en cuenta lo anterior, se plantea como hipótesis de trabajo que la composición nutricional de la torta de sacha inchi se puede modificar mediante tratamientos físicos. Debido a ello, el objetivo del trabajo fue determinar la composición química de la torta de *Plukenetia volubilis* L. (sacha inchi) tratada por métodos físicos.

## Materiales y métodos

El trabajo se realizó en el Instituto de Ciencia Animal (ICA), municipio San José de Las Lajas, provincia Mayabeque, Cuba. Este se encuentra ubicado entre los 22° 53' LN y los 82° 02' LO y a 80 m s. n. m.

### Obtención de la torta de sacha inchi

La torta de sacha inchi que se utilizó en la experimentación proviene de semillas que se cosecharon en la provincia Mayabeque, Cuba, con un intervalo tiempo-cosecha de 7 meses. Luego, se procesaron en el CIPB mediante el método de extracción de aceite por prensado en frío, con el empleo de una prensa cilindro extractora. Igualmente, se empleó el PNO: PO. III. 49 (2018) establecido en la planta de procesamiento. La torta residual se almacenó en sacos separados del suelo por pallets, en cuarto refrigerado y debidamente identificados hasta el momento de la toma de muestras.

### Toma de muestras

Se utilizó un lote de torta de sacha inchi, que se obtuvo en mayo de 2023. Se tomaron muestras extraídas de sacos independientes y al azar. Para ello, se esparció el contenido del saco sobre una superficie limpia y plana. Se tomó el contenido de las cuatro esquinas y el centro para conformar una mezcla de aproximadamente 5 kg. Posteriormente se entregaron a la Unidad Central de Laboratorios del Instituto de Ciencia Animal (UCELAB) para su procesamiento analítico.

### Diseño experimental, tratamientos y análisis estadístico

Para detectar diferencias entre tratamientos (efecto principal), se utilizó un diseño completamente aleatorizado. Para ello se emplearon 4 muestras (repeticiones), que consistieron en colocar 200 g de torta en erlenmeyers de 1 L y se procesaron según los 6 tratamientos experimentales:

- Torta cruda (control) sin procesar.
- Remojo en agua por 24 horas.
- Remojo en agua por 24 horas, lavado y cocción por 30 minutos.
- Remojo en agua por 48 horas y lavado a las 24 horas.
- Remojo en agua por 48 horas, lavado a las 24 horas y cocción por 30 minutos.
- Tostado.

El remojo se realizó en agua en proporción 1:4 (p:v) en erlenmeyer de 1 L y la cocción se hizo en hornilla de gas. Para el tostado se utilizó un horno de procesamiento de alimentos a 140 °C por 1 hora. Al terminar cada tratamiento, se procedió a colocar cada uno en la estufa de circulación de aire a 60 °C por 48 h para, posteriormente, realizar los análisis químicos en la UCELAB.

Los valores medios de cada indicador que se estudió en la composición química se compararon mediante la prueba de Duncan (1955), en los casos necesarios. Los datos se procesaron mediante el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2012).

## Determinación de la composición química

Se determinaron los contenidos de materia seca (MS), proteína cruda (PC) y cenizas, según la metodología descrita por la AOAC (2023). Para la extracción de fibra detergente ácido (FDA) y celulosa se utilizó el método de fraccionamiento de Goering y Van Soest (1970). Cada análisis se realizó por duplicado.

## Composición cualitativa de metabolitos secundarios

Se analizó cualitativamente el contenido de compuestos secundarios (grupos aminos, saponinas, fenoles, taninos, alcaloides, flavonoides) según la metodología de Miranda y Cuellar (2014). Para realizar el tamizaje fitoquímico se tomaron 6 muestras por duplicado de 5 g cada una y se sometieron a un proceso de extracción por maceración con etanol al 90 % (v:v) durante 48 h. Posteriormente, se filtraron por gravedad y el filtrado se conservó en frascos de cristal de color ámbar. A continuación, se procedió a la determinación de las sustancias solubles en cada uno de los extractos y se utilizó el sistema de cruces para indicar la presencia o ausencia de los metabolitos.

## Resultados

En la Tabla 1 se muestra la composición química de las tortas de sacha inchi tras someterse a diferentes métodos físicos. Los valores de MS fueron superiores

para la torta tostada en relación con el control; el resto de los tratamientos no mostraron diferencias entre sí, ni con los 2 anteriores. La proteína bruta no difirió entre tratamientos y sus valores fueron elevados.

El contenido de cenizas disminuyó en todos los tratamientos con respecto al control y a la torta tostada; estas últimas no difirieron entre sí. Sin embargo, las reducciones son más marcadas tras el remojo de 48 horas y la cocción. Además, se observó aumento de la fibra detergente ácida y celulosa en todos los tratamientos con respecto al control.

El análisis cualitativo de metabolitos secundarios de la torta de sacha inchi, tratada por métodos físicos se aprecia en la Tabla 2. La presencia de grupos aminos fue positiva en los tratamientos control y en aquellos con remojo y cocción, que tomaron una coloración azul violácea. Sin embargo, con el tostado se mantuvo de color pardo, lo que no mostró la presencia de estos grupos aminos.

El análisis cualitativo de la presencia de alcaloides y taninos resultó dudoso, ya que no se pudieron apreciar o asegurar a simple vista los rasgos positivos del análisis. La turbidez y la aparición de precipitados fueron confusas ante la presencia de grasas en las muestras. Los flavonoides resultaron negativos, puesto que no se apreció la coloración de la fase amílica característica de un resultado positivo. Al realizar el ensayo de saponinas la espuma no se sosténía, lo que indicó ausencia de estos compuestos en los tratamientos en relación con el control.

## Discusión

El tostado elimina, a través de la evaporación, mucha del agua que está contenida en el grano. Por esa razón, el incremento en la MS consecuentemente lleva a una reducción de la humedad en la torta (Fadimatou et al., 2024). Este resultado muestra que el subproducto tostado puede ser almacenado por largo tiempo. En términos microbiológicos, se reduce el riesgo de desarrollo de microorganismos indeseados (Bradley Morris et al., 2021).

En la literatura científica se han encontrado resultados contradictorios acerca del contenido de la fracción proteica. Duodu et al. (2018) reportaron que

**Tabla 1.** Diferencias entre tratamientos (efecto principal) en la composición química de la torta de sacha inchi tratada por métodos físicos

Indicador %	Tratamientos						EE $\pm$	p-valor
	Control	Agua 24 h	Agua 24 h y cocción	Agua 48 h	Agua 48 h y cocción	Tostada		
MS	94.42 <sup>b</sup>	98.23 <sup>ab</sup>	95.91 <sup>ab</sup>	98.72 <sup>ab</sup>	95.87 <sup>ab</sup>	99.56 <sup>a</sup>	0.54	<0.0001
PC	53.41	52.51	53.18	52.12	54.50	53.67	1.16	0.7507
Cenizas	5.20 <sup>a</sup>	4.37 <sup>b</sup>	3.97 <sup>b</sup>	3.46 <sup>c</sup>	3.39 <sup>c</sup>	5.20 <sup>a</sup>	0.14	<0.0001
FDA	9.38 <sup>c</sup>	17.12 <sup>b</sup>	16.52 <sup>b</sup>	18.29 <sup>b</sup>	15.64 <sup>b</sup>	22.81 <sup>a</sup>	1.40	0.0001
Celulosa	6.29 <sup>c</sup>	13.81 <sup>b</sup>	13.54 <sup>b</sup>	14.18 <sup>b</sup>	12.63 <sup>b</sup>	18.74 <sup>a</sup>	1.36	0.0003

\*abc: valores diferentes entre columnas difieren a  $p < 0.05$  (Duncan, 1955). MS: materia seca; PC: proteína cruda; FDA: fibra detergente ácida

**Tabla 2.** Tamizaje fitoquímico de la torta de sacha inchi tratada por métodos físicos

Muestra	Grupos Aminos	Saponinas	Fenoles	Taninos	Alcaloides	Flavonoides
Control	+++	+++	---	+/-	---	---
Agua 24 h	+++	---	---	+/-	+/-	---
Agua 24 h y cocción	+++	---	---	+/-	+/-	---
Agua 48 h	+++	---	---	+/-	+/-	---
Agua 48 h y cocción	+++	---	---	+/-	+/-	---
Tostada	---	---	---	+/-	+/-	---

\*+++: positivo ---: negativo +/-: dudoso

el método de remojo aumenta sus concentraciones en harinas de oleaginosas, sin embargo, Ogunnusi *et al.* (2023) plantearon que reduce las proteínas totales en la harina de soya, y, por su parte, Mandal y Ghosh (2020) evidenciaron pérdidas moderadas debido al poco tiempo de exposición (30 min) a altas temperaturas (121 °C) en la torta de maní.

De lo anterior es posible inferir que existen varios factores que pueden influir en los resultados de la concentración de la proteína tras someterse a diferentes procesamientos físicos. El tipo de oleaginosa, la composición de metabolitos secundarios, las condiciones de cada tratamiento y la combinación o no de varios métodos, entre otros.

El remojo puede interferir en la cantidad de nitrógeno de la muestra, ya que pueden solubilizarse algunos compuestos como amonio, amino azúcares (glutamina y quitina) y diferentes complejos: fenol-proteínas, proteínas-lignina y proteína-quitina, entre otros (Terefe *et al.*, 2021). Sin embargo, es probable que su concentración no sea alta, y por esa razón no son significativas las pérdidas por solubilidad. Sería necesario estudiar el nitrógeno no proteico para conocer la cantidad de estos compuestos que se encuentra en la torta. Por otra parte, el tratamiento térmico desnaturaliza la proteína afectando su estructura terciaria y cuaternaria (Sharika *et al.*, 2024), pero en cuanto a su cuantificación, no afecta el valor. Por esa razón, para una mejor precisión, habría que determinar en estudios posteriores el contenido de proteína verdadera.

En relación con las cenizas, Nsa y Ukachukwu (2009) reportaron similar resultado a los que se obtuvieron en el presente estudio, pero en tortas de semillas de ricino. Según estos autores, es más eficaz el proceso de lixiviación de muchos minerales con el remojo y la cocción, que con otros tratamientos térmicos. No obstante, los valores se encuentran en el rango reportado por Rakita *et al.* (2023) para diferentes oleaginosas (4.2 - 8.1 %).

El comportamiento observado en la FDA y la celulosa se explica por diferentes mecanismos. De manera inicial las semillas de sacha inchi cosechadas se sometieron a un proceso de extracción de aceite mediante el método de prensado en cilindro en frío. Durante este, las estructuras celulares de las semillas

se rompieron y permeabilizaron, lo que provocó que, posteriormente, al momento de aplicar los tratamientos físicos, dicha estructura se encontrase debilitada.

En el remojo, tras introducir la torta en agua durante un periodo de tiempo prolongado se produjo un shock osmótico. De esta forma, se afecta la región amorfa (más accesible) debido al rompimiento de las cadenas lineales de glucosa unidas por enlace  $\beta$  (1-4) glucosídico y, así, las enzimas endógenas pueden acceder más fácilmente (Vujetić *et al.*, 2025). Como resultado se liberan sustancias simples como los glucómeros, monómeros de glucosa y otros azúcares simples. Por tanto, es posible que la mayor liberación de estas sustancias simples, producto del proceso de degradación de la celulosa, justifique el aumento de ambas fracciones (FDA y celulosa).

La descomposición térmica o pirólisis también influye en los tratamientos térmicos que se evaluaron (cocción y tostado). Según Vuppalaadiyam *et al.* (2022) los aspectos que determinan las proporciones en las que las sustancias complejas se degradan a simples, mediante pirólisis, son: temperatura y tiempo de exposición al calor. Es por ello que el tratamiento de tostado mostró los valores más altos de la fracción fibrosa que se determinó, ya que ambos factores fueron superiores en cantidad y prolongación, en comparación con los que implicaron cocción.

La reducción de los grupos amino con el método de tostado se correspondió con lo observado por Anozie *et al.* (2018), quienes reportaron que se redujeron los inhibidores de tripsina en la torta de soya mediante un tostado de 140 °C durante 9 min. Ahora bien, existen diversos factores que influyen en la disminución de estos compuestos, como la temperatura, la duración del calentamiento, la humedad y el tamaño de partícula de la muestra (Kong *et al.*, 2022). En relación con los demás tratamientos, el tostado empleó mayor temperatura, así como mayor tiempo de exposición al calor, lo que pudo influir en el resultado que se observó.

Por su parte, Vichare y Morya (2024) plantearon que el cambio en la estructura de las saponinas, como resultado de la hidrólisis parcial durante el procesamiento, tendrá efectos significativos en

la calidad de los productos procesados de origen vegetal. Los autores mencionaron que tratamientos físicos, como el remojo antes de realizar la cocción, pueden favorecer la eliminación de concentraciones elevadas de saponinas; de esta forma, se reduce el riesgo de hemólisis de glóbulos rojos, de toxicidad, de náuseas y de vómitos en humanos y animales.

El resultado de saponinas es significativamente valioso, ya que estas constituyen los principales metabolitos secundarios presentes en la torta cruda de sacha Inchi. A su vez, pueden ser los posibles responsables de efectos antinutricionales cuando sus concentraciones son abundantes en tortas de oleaginosas con destino a la alimentación animal. Es importante, para corroborar dicha hipótesis, la cuantificación en estudios posteriores.

## Conclusiones

Se concluye que el remojo, la cocción y el tostado influyen en la composición química de la torta de sacha inchi, excepto en el contenido de proteína. En la torta de sacha inchi, tratada por diferentes métodos físicos, la presencia de saponinas se reduce cualitativamente solo con el tostado, así como también los grupos aminos, por lo cual este método puede ser ventajoso para que la torta sea incluida en la alimentación animal.

## Agradecimientos

Las autoras agradecen la financiación de la investigación al proyecto “PN131LH01.74. Tortas de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) y moringa (*Moringa oleifera* L.) para la alimentación de aves”, perteneciente al Programa Nacional de Ciencia y Tecnología de Cuba - “Alimentos y su Agroindustria”.

## Referencias

- Anozie, A. N.; Salami, O. A.; Babatunde, D. E. y Babatunde, O. E. (2018). Comparative evaluation of processes for production of soybean meal for poultry feed in Nigeria. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 52(2), 193-202. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2079-34802018000200193&script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2079-34802018000200193&script=sci_arttext)
- Association of Official Analytical Collaboration International (AOAC). (2023). *Official methods of analysis of AOAC International* (22° edition). AOAC Publications. <https://doi.org/10.1093/9780197610145.001.0001>
- Bárta, J.; Bárlová, V.; Jarošová, M.; Švajner, J.; Smetana, P.; Kadlec, J.; Filip, V.; Kyselka, J.; Berčíková, M.; Zdráhal, Z.; Bjelková, M. y Kozák, M. (2021). Oilseed cake flour composition, functional properties and antioxidant potential as effects of sieving and species differences. *Foods*, 10(11), 2766, 1-17. <https://doi.org/10.3390/foods10112766>
- Bermeo, M. L. y Pallo, C. J. (2022). Manual de funcionamiento, mantenimiento y aplicación pedagógica del equipo (horno deshidratador, coccionador y ahumador) en el laboratorio de investigación en cárnicos de la carrera de Agroindustria en la Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Universidad Técnica de Cotopaxi. <https://repositorio.utc.edu.ec/items/8bdde07f-5121-468b-adbf-d94b84536ba6>
- Bradley Morris, J.; Li Wang, M. y Tonnis, B. D. (2021). Variability for oil, protein, lignan, tocopherol, and fatty acid concentrations in eight sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes. *Industrial Crops and Products*, 164, 113355. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113355>
- Cárdenas, D. M.; Gómez Rave, L. J. y Andrés Soto, J. (2021). Biological activity of sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo) and potential uses in human health: A review. *Food Technology and Biotechnology*, 59(3), 253-266. <https://doi.org/10.17113/fb.59.03.21.16683>
- Dellepiane, A. V.; Sánchez, G. E. y Chamorro, A. M. (2023). Importancia económica, usos y propiedades de lino, colza y cártamo. En EDULP (ed.), *Lino, colza y cártamo. Oleaginosas que aportan a la diversificación productiva* (pp. 22-38). Universidad Nacional de La Plata. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/158499>
- Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, M. G.; González, L.; Tablada, M. y Robledo, C. W. (2012). InfoStat (versión 2012). Universidad Nacional de Córdoba. <http://www.infostat.com.ar>
- Duncan, D. B. (1955). Multiple range and multiple F tests. *Biometrics*, 11(1), 1-42. <https://doi.org/10.2307/3001478>
- Duodu, C. P.; Adjei-Boateng, D.; Edziyie, R. E.; Agbo, N. W.; Owusu-Boateng, G.; Larsen, B. K. y Skov, P. V. (2018). Processing techniques of selected oilseed by-products of potential use in animal feed: Effects on proximate nutrient composition, amino acid profile and antinutrients. *Animal Nutrition*, 4(4), 442-451. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.05.007>
- Fadimatou, B.; Trésor, L.; Charles, D. y Fewou, M. (2024). Effect of culinary treatments on nutritional and anti-nutritional profiles of sesame oilcake for use in fighting protein malnutrition. *Asian Journal of Biotechnology and Bioresource Technology*, 10(2), 60-71. <https://doi.org/10.9734/ajbt/2024/v10i2205>
- Goering, H. K. y Van Soest, P. J. (1970). Forage fiber analyses: Apparatus, reagent, procedures and some applications. En USDA (ed.), *Agriculture handbook* (pp. 20). Agricultural Research Service. <https://www.govinfo.gov/content/pkg/GOV PUB-A-PURL-gpo24229/pdf/GOV PUB-A-PURL-gpo24229.pdf>
- Kong, X.; Li, Y. y Liu, X. (2022). A review of thermosensitive antinutritional factors in plant-based foods. *Journal of Food Biochemistry*, 46(9), 1419. <https://doi.org/10.1111/jfbc.14199>
- Mandal, S. y Ghosh, K. (2020). Effect of different processing techniques on nutrient and anti-nutrient compositions of plant feedstuffs for their probable use as aqua-feed ingredients. *Journal of the Inland Fisheries Society of India*, 52(2), 173-182. <http://dx.doi.org/10.47780/jifsi.52.2.2020.109943>
- Miranda, M. y Cuellar, A. (2014). *Manual de prácticas de laboratorio. Farmacognosia y productos naturales*. Facultad de Farmacia y alimentos de la Universidad de La Habana. Empresa Editorial Poligráfica Félix Varela. La Habana, Cuba.
- Nsa, E. E. y Ukaechukwu, S. N. (2009). Effect of thermal processing methods on the proximate composition, gross energy, minerals and ricin content of undecorticated castor oil seed (*Ricinus communis*). *Global Journal of Agricultural Sciences*, 8(2), 223-227. <https://doi.org/10.4314/gjass.v8i2.51890>
- Ogunnusi, J.; Toye, O.; Akinwemoye, O.; Adebayo, K.; Adamolekun, T.; Owolabi, J.; Akande, A. y Avre, M. (2023). Nutritive and anti-nutritive compounds of oil seeds renewables and by-products in the livestock industry. *African Journal of Agriculture and Food Science*, 6(3), 45-53. <https://doi.org/10.52589/AJAFS-MI3DTKCY>

- PNO: PO.III.49. 2018. Procedimiento de prensado para la extracción de aceite de las semillas de sacha inchi. Centro de Investigaciones en Plantas Proteicas y Productos Bionaturales. La Habana, Cuba.
- Rakita, S.; Kokic, B.; Manoni, M.; Mazzoleni, S.; Lin, P.; Luciano, A.; Ottoboni, M.; Cheli, F. y Pinotti, L. (2023). Cold-pressed oilseed cakes as alternative and sustainable feed ingredients: A review. *Foods*, 12(3), 432. <https://doi.org/10.3390/foods12030432>
- Scull, I.; García, Y.; Ortega, D.; Albelo, N.; Sosa, D.; Valiño, E. C. y García, Y. (2022). Chemical characterization of *Plukenetia volubilis* (sacha inchi) cake cultivated in Cuba. Technical note. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 56(4), 1-6. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=653774895008>
- Sharika, D.; Hemalatha Ganapathywamy, H.; Kanchana, S.; Mini, M. L. y Jeya Bhara, M. (2024). Techniques to improve the functional properties of whey proteins. *International Journal of Biological and Pharmaceutical Sciences Archive*, 07(01), 001-016. <https://doi.org/10.53771/ijbpsa.2024.7.1.0121>
- Sudik, S. D.; Odetola, O. y Olusegun, O. B. (2024). Chemical composition of seeds, cakes and hulls obtained from Pumpkin seeds (*Cucurbita maxima*) and roselle seeds (*Hibiscus sabdariffa*). *Nigerian Journal of Animal Production*, 994-996. <https://njap.org.ng/index.php/njap/article/view/6647>
- Terefe, Z. K.; Omwamba, M. N. y Nduko, J. M. (2021). Effect of solid-state fermentation on proximate composition, antinutritional factors and in vitro protein digestibility of maize flour. *Food Science & Nutrition*, 9(11), 6343-6352. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2599>
- Tharifkhan, S. A.; Perumal, A. B.; Elumalai, A.; Moses, J. A. y Anandharamakrishnan, C. (2021). Improvement of nutrient bioavailability in millets: Emphasis on the application of enzymes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(12), 4869-4878. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11228>
- Vichare, S. A. y Morya, S. (2024) Exploring waste utilization potential: Nutritional, functional and medicinal properties of oilseed cakes. *Frontiers in Food Science and Technology*, 4, 1441029. <https://doi.org/10.3389/frfst.2024.1441029>
- Vujetić J. C.; Spasevski N. J. y Dragojlović D. M. (2025). Processing techniques of removing antinutrients from oilseed cakes as by-products intended for animal feeding. *Food and Feed Research*, 52(1), 37-51. <https://doi.org/10.5937/ffro-50500>
- Vuppaldadiyam, A. K.; Varsha Vuppaldadiyam, S. S.; Awasthi, A.; Sahoo, A.; Rehman, S.; Pant, K. P.; Murugavelh, S.; Huang, Q.; Anthony, E.; Fennel, P.; Bhattacharya, S. y Leu S. (2022). Biomass pyrolysis: A review on recent advancements and green hydrogen production. *Bioresource Technology*, 364, 128087. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128087>
- Zajac, M.; Kiczorowska, B.; Samolinska, W.; Kowalczyk-Pecka, D.; Andrejko, D. y Kiczorowskiz, P. (2021). Effect of inclusion of micronized camelina, sunflower, and flax seeds in the broiler chicken diet on performance productivity, nutrient utilization, and intestinal microbial populations. *Poultry Science*, 100(7), 1-45. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101118>