



COMPOSICIÓN QUÍMICA Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LA FRACCIÓN FIBROSA DE DIFERENTES LOTES DE PRODUCCIÓN DE TORTA DE *PLUKENETIA VOLUBILIS* L.

CHEMICAL COMPOSITION AND PHYSICAL PROPERTIES OF THE FIBER FRACTION OF DIFFERENT PRODUCTION BATCHES OF *PLUKENETIA VOLUBILIS* L. CAKE

¹SUSAN K. HERNÁNDEZ LEMUS^{1*}, ²MADELEIDY MARTÍNEZ-PÉREZ¹, ³YANEISY GARCÍA HERNÁNDEZ¹,
¹HILDA HERRERA GALINDO¹, ²IDANIA SCULL RODRÍGUEZ¹, ³MABEL VILLANUEVA DOMÍNGUEZ²

¹Instituto de Ciencia Animal, C. Central, km 47½, San José de las Lajas, CP: 32700, Mayabeque, Cuba.

²Centro de Investigación en Plantas Proteicas y Productos Bionaturales, Calle 5ta A Edificio CECMED-CENCEC e/ 60 y 62 Miramar, Playa. CP: 11300, La Habana, Cuba.

*E-mail: madeleidymartinez@gmail.com

Para determinar la composición química (materia seca, proteína bruta, cenizas, fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, celulosa, lignina y hemicelulosa) y propiedades físicas (solubilidad, capacidad de adsorción de agua, volumen) de tres lotes de torta de *Plukenetia volubilis* L. (Sacha inchi), así como su perfil mineral (Ca, P, Mg, K, Na) y metabolitos secundarios se aplicó un diseño de clasificación simple y se analizaron las diferencias mediante ANOVA y prueba de Duncan ($p < 0.05$) con el uso del INFOSTAT. Los resultados mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en FDN (lote tres: 25.82 % vs. lotes uno y dos: 28.11-29.90 %), MS, FDA y celulosa, que no variaron entre todos los lotes. No hubo diferencias ($p > 0.05$) en PB, lignina, hemicelulosa ni en las propiedades físicas. El lote tres presentó mayor contenido de macrominerales (excepto fósforo) con respecto al lote dos, mientras que el lote uno mostró valores intermedios: Ca (0.19 %), P (0.79 %), Mg (0.12 %), K (0.24 %) y Na (0.44 %). Se identificaron cualitativamente saponinas y grupos α amino, abundantes en todos los lotes. Se concluye que la composición química de la torta de Sacha inchi varía entre lotes, excepto en proteína, lignina y propiedades físicas. El lote tres se destacó por su menor contenido de FDN y mayor concentración de minerales, lo que sugiere su potencial preferencia para aplicaciones nutricionales.

To determine the chemical composition (dry matter, crude protein, ash, neutral detergent fiber, acid detergent fiber, cellulose, lignin and hemicellulose), and physical properties (solubility, water adsorption capacity and volume) of three batches of *Plukenetia volubilis* L. (Sacha inchi) cake, as well as its mineral profile (Ca, P, Mg, K, Na) and secondary metabolites, a simple classification design was applied and differences were analyzed using ANOVA and Duncan test ($p < 0.05$) with the use of INFOSTAT. Results showed significant differences ($p < 0.05$) in NDF (batch three: 25.82 % vs. batches one and two: 28.11-29.90 %), DM, ADF, and cellulose, which did not vary among all batches. There were no differences ($p > 0.05$) in CP, lignin, hemicellulose, nor in the physical properties. Batch three showed a higher content of macrominerals (except phosphorus) compared to batch two, while batch one showed intermediate values: Ca (0.19 %), P (0.79 %), Mg (0.12 %), K (0.24 %) and Na (0.44 %). Saponins and α -amino groups were identified qualitatively, being abundant in all batches. It is concluded that the chemical composition of Sacha inchi cake varies among batches, except for protein, lignin, and physical properties. Batch three stood out for its lower content of NDF and higher mineral concentration, suggesting its potential preference for nutritional applications.

Palabras clave: fibra, macrominerales, metabolitos secundarios, Sacha inchi, subproducto

Keywords: byproduct, fiber, macrominerals, Sacha inchi, secondary metabolites

Recibido: 15 de diciembre de 2024

Aceptado: 27 de diciembre de 2025

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Declaración de contribución de autoría CRediT: Susan K. Hernández Lemus: Curación de datos, Análisis formal, Investigación, Visualización, Redacción - borrador original. Madeleidy Martínez-Pérez: Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal, Adquisición de fondos, Investigación, Metodología, Supervisión, Validación, Visualización, Redacción - borrador original. Yaneisy García Hernández: Recursos, Investigación, Metodología. Hilda Herrera Galindo; Idania Scull Rodríguez: Investigación, Metodología. Mabel Villanueva Domínguez: Recursos, Investigación, Metodología.



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



Introducción

Las oleaginosas constituyen uno de los cultivos de mayor producción, investigación y comercialización en el mundo. Las 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 extracción por prensa cilindro y por solventes. Como resultado, se obtiene la torta residual, que se caracteriza generalmente por presentar alto contenido de proteínas y de cenizas (Vichare y Morya 2024).

En Cuba, el Centro de Investigaciones en Plantas Proteicas y Productos Bionaturales (CIPB) trabaja en diversos proyectos para obtener nuevos productos a partir del aceite y la torta residual del procesamiento para aprovechar mejor las semillas destinadas a la alimentación humana. Entre las materias primas utilizadas se encuentra *Plukenetia volubilis* L. (Sacha inchi).

Scull et al. (2022) investigaron la torta de Sacha inchi a partir de las semillas cosechadas en el occidente de Cuba (Pinar del Río) y posteriormente procesadas en el CIPB. La torta residual mostró elevado contenido de proteína bruta (54.41 %), moderado de fibra detergente neutro (FDN) (30.97 %) y detergente ácido (FDA) (11.84 %) y adecuado contenido de cenizas (5.05 %). Sin embargo, se identificó la presencia abundante de algunos metabolitos secundarios, como los terpenoides y los grupos α aminos.

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 (Srichamnong et al. 2018). Además, limitan el potencial del subproducto, especialmente cuando se utilizan altas dosis (Zajac et al. 2020). Debido a ello, el objetivo de este trabajo fue determinar la composición química y las propiedades físicas de la fracción fibrosa de diferentes lotes de producción de la torta de *Plukenetia volubilis* L. (Sacha inchi).

Materiales y Métodos

El trabajo se realizó en el Instituto de Ciencia Animal (ICA), ubicado en el municipio de San José de las Lajas, provincia Mayabeque, Cuba. Se halla entre los 22° 53' LN y los 82° 02' LO y a 80 m s.n.m (Herrera 1976).

Obtención de la torta de Sacha inchi: La torta residual de *Plukenetia volubilis* L. se obtuvo de semillas cosechadas en Mayabeque, Cuba, con un intervalo siembra-cosecha de siete meses. El procesamiento consistió en la extracción de aceite mediante prensado en frío (prensa cilindro extractora), siguiendo el protocolo ONO: PO. III.49 del Centro de Investigaciones en Plantas Proteicas y Productos

Bionaturales. La torta resultante se almacenó en sacos de polipropileno, colocados sobre pallets para evitar contacto con el suelo en una cámara refrigerada hasta su análisis.

Toma de muestras: Se evaluaron tres lotes de torta de Sacha inchi, correspondientes a meses de producción distintos: lote uno (diciembre de 2022), lote dos (febrero de 2023) y lote tres (mayo de 2023). El número de lotes disponibles en la planta de extracción de aceite al momento de la toma de muestras fue suficiente para evaluar la variabilidad composicional e identificar las diferencias atribuibles a condiciones de cosecha y procesamiento.

Cada lote representó una unidad experimental independiente ($n=3$). De cada uno se seleccionaron aleatoriamente seis sacos (réplicas de muestreo primario). El contenido de cada saco se esparció sobre una superficie estéril y plana y se recolectaron submuestras de las cuatro esquinas y el centro. Se mezclaron las submuestras para obtener 1 kg de material homogéneo por lote, el cual se selló en bolsas herméticas y se envió a la Unidad Central de Laboratorios del Instituto de Ciencia Animal (UCELAB) para su análisis fisicoquímico.

Determinación de la composición química: Se determinaron los contenidos de materia seca (MS), proteína bruta (PB), cenizas y macrominerales, según la metodología descrita por la AOAC (2019). Para la extracción de FDN, FDA, lignina, celulosa y hemicelulosa, se utilizó el método de fraccionamiento de Goering y van Soest (1970). Cada análisis se realizó por duplicado.

Determinación de las propiedades físicas: La solubilidad se determinó por el método de Seoane et al. (1981). Para ello se tamizaron las muestras por un tamiz de 0.8 mm. Luego, se llevaron a estufa a 105 °C durante toda la noche.

- Solubilidad. Se añadieron 60 mL de agua destilada a 2 g de muestra seca, se dejó reposar por 1 hora, se filtró y se colocó en estufa a 60 °C, durante 12 h. Posteriormente, se pesó el residuo seco.

Se determinó esta propiedad por el cálculo de:

$$\text{Solubilidad, (\%)} = \left[\frac{2 \text{ g de muestra} - \text{peso residuo seco}}{2 \text{ g de muestra}} \right] * 100$$

- Capacidad de adsorción de agua (CAA). Se determinó de acuerdo con Savón et al. (1999). El cálculo se realizó según la fórmula:

$$\text{CAA, } \left(\frac{\text{g}}{\text{g}} \right) = \frac{\text{peso muestra húmeda} - \text{peso muestra seca}}{\text{peso muestra seca}}$$

- Volumen. Se tomó 1g de la muestra seca, se centrifugó a 3 000 r.p.m, durante 20 min. y se midió el volumen ocupado por la muestra después de la centrifugación. Se expresó en mL/g.

Composición cualitativa de metabolitos secundarios: Se analizó cualitativamente el contenido de compuestos secundarios según la metodología de Miranda y Cuellar (2000). Para realizar el tamizaje fitoquímico, se tomaron seis muestras por duplicado de 5 g cada una y se sometieron a un

proceso de extracción por maceración con etanol 90 % v/v durante 48 h. Luego, se filtraron por gravedad y el filtrado se conservó en frascos de cristal de color ámbar. Posteriormente, se procedió a determinar 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.

Diseño experimental y análisis estadístico: Se empleó un diseño de clasificación simple para las variables de composición química (MS, PB, cenizas, FDN, FDA, celulosa, hemicelulosa y lignina), propiedades físicas (solubilidad, capacidad de adsorción de agua, y volumen) y contenido mineral (Ca, P, Mg, K, Na) en tres lotes de torta de Sacha inchi cruda. Las diferencias entre lotes se analizaron mediante ANOVA, y cuando fueron significativas ($p < 0.05$) las medias, se compararon con la prueba de [Duncan \(1955\)](#). Para el procesamiento de los datos se utilizó el programa INFOSAT ([Di Rienzo et al. 2012](#)).

Resultados y Discusión

En la [tabla 1](#) se muestra la composición química y las propiedades físicas de la fracción fibrosa de la torta de Sacha inchi. Estas últimas no mostraron diferencias entre lotes, al igual que la proteína, lignina y hemicelulosa.

La MS fue elevada, lo que indica bajo contenido de humedad en la torta de Sacha inchi. El resultado es importante cuando se almacenan productos destinados a la alimentación, ya que según [Sánchez et al. \(2020\)](#) de ello depende que no se modifique la calidad nutricional. Sin embargo, el lote tres mostró el valor más bajo comparado con el dos y el uno. El resultado pudiera estar en correspondencia con el tiempo de almacenamiento de la torta.

Se obtuvieron niveles de proteína bruta que resultaron elevados, si se comparan con la soya (42 %) según datos de [Terrien \(2017\)](#). Los resultados son inferiores al 54.41 % de

PB informado por [Scull et al. \(2022\)](#). Esto se puede relacionar con la época de cosecha y la región donde se obtuvieron. A diferencia de estos autores, quienes adquirieron sus lotes de torta en el segundo semestre del año 2020 de la provincia Pinar del Río, los lotes que se evaluaron en el presente experimento correspondieron a los meses de diciembre de 2022 y febrero y mayo de 2023 en la provincia Mayabeque.

El contenido de PB que se obtuvo fue superior al informado por [Alcivar et al. \(2020\)](#) en la torta de Sacha inchi obtenida en Ecuador (41.49 %), quienes utilizaron el método de prensa cilindro extractor a altas temperaturas. Lo anterior contradice lo expresado por [Mannucci et al. \(2019\)](#) sobre la disminución del contenido de proteína de las tortas que se extraen en frío, en comparación con los procesamientos que usan altas temperaturas, donde las concentraciones suelen ser superiores. Es posible que las condiciones edafoclimáticas del cultivo de las plantas hayan influido en los niveles de proteína de cada torta.

Los tenores de FDN fueron menores en el lote tres con respecto al resto. La FDA y la celulosa fueron diferentes para todos los lotes con los valores mayores en el lote dos. Las diferencias entre lotes están relacionadas con el contenido de MS de la torta que, a su vez, depende del tiempo de almacenamiento de la misma.

Los valores FDN y FDA fueron superiores a los informados para la torta de Sacha inchi por [Alcivar et al. \(2020\)](#) en Ecuador (16.64 y 12.70 %, en ese mismo orden). Se encuentran en el rango de diferentes tortas de oleaginosas que provienen de especies vegetales, sean de climas tropicales como templados (entre 19 y 52, entre 13 y 42 %, respectivamente). Sucede así en amarula (*Sclerocarya birrea*), macadamia (*Integrifolia*) y baobab (*Adansonia digitate* L.) en África ([Solomon 2018](#)) y dos especies de canola (*Brassica napus* y *Brassica juncea*) en Canadá ([Oryschak et al. 2019](#)).

Tabla 1. Composición físico-química de la torta de Sacha inchi, producida en Cuba

Indicadores, %	Lotes			EE±	p-valor
	Uno	Dos	Tres		
MS	95.96 ^b	96.71 ^a	94.48 ^c	0.15	<0.0001
PB	53.34	53.40	53.62	0.40	0.8696
Cenizas	4.91 ^{ab}	4.55 ^b	5.18 ^a	0.13	0.0154
FDN	28.11 ^a	29.98 ^a	25.82 ^b	0.68	0.0022
FDA	13.31 ^b	16.24 ^a	10.18 ^c	0.81	0.0004
Celulosa	9.19 ^b	12.37 ^a	7.00 ^c	0.66	0.0002
Lignina	3.41	3.21	2.68	0.28	0.1970
Hemicelulosa	14.81	13.74	15.64	0.80	0.2754
Solubilidad	21.37	20.34	20.48	0.63	0.4740
Capacidad de adsorción de agua, g/g	5.66	5.75	5.63	0.11	0.7449
Volumen, mL/g	2.38	2.29	2.50	0.07	0.1697

^{a,b,c}Valores con letras diferentes en la misma fila difieren significativamente a $P < 0.05$ ([Duncan 1955](#))

Según Alcívar (2022), en la composición de carbohidratos en la torta de Sacha inchi influyen factores como la genética propia de la planta, que se afecta directamente por el clima donde se cultiva. Además, puede variar en dependencia de la forma de presentación de la oleaginosa, ya sea en harina, al moler directamente la semilla, o en el subproducto resultante de la extracción del aceite. Este último depende, además, del tipo de procesamiento al que se someta la semilla para la obtención del aceite.

No obstante, de manera general, los indicadores del fraccionamiento fibroso se consideran bajos si se comparan con otras oleaginosas fibrosas como el palmiche con valores de FDN y FDA de 72.55 y 55.84 %, respectivamente (Martínez-Pérez et al. 2021). La relación hemicelulosa:celulosa fue 1.11, 1.61 y 2.23 para los lotes dos, uno y tres, respectivamente. Según Marrero (1998), mientras mayor es esta relación en un alimento, se podría degradar más el componente fibroso por el animal. Este aspecto, unido a la baja composición en pared celular, pudiera indicar mejor digestibilidad de la torta de Sacha inchi en monogástricos, aspectos que se deberán estudiar en trabajos futuros.

Los resultados de las propiedades físicas evidenciaron valores intermedios de solubilidad. En la torta de Sacha inchi que se produjo en Ecuador, Alcívar et al. (2022) informaron valores inferiores (7.96 %). Wang et al. (2018) refirieron que en las semillas de Sacha inchi la fibra dietética insoluble representaba 72.40 % y la soluble, 9.0 %. Las diferencias entre estudios se pueden relacionar con los métodos de obtención de la torta que se discutieron previamente y con la relación de los diferentes compuestos químicos.

Los valores de lignina fueron bajos y quizás entre las hemicelulosas predominen las insolubles. Estos componentes, según lo planteado por Martínez-Pérez (2010) forman parte de la fracción no soluble de la fibra. Además, son las encargadas de la regulación de la función del tracto gastrointestinal de animales monogástricos. Según Hua et al. (2019), la fibra dietética insoluble promueve la peristalsis, incrementa el volumen fecal, interfiere en la digestibilidad de los nutrientes y absorbe y elimina grasa, determinados metales y otras sustancias tóxicas.

La torta de Sacha inchi mostró que es un subproducto voluminoso y presenta baja capacidad de adsorción de agua. Según Wrolstad (2012), la fibra dietética no soluble se caracteriza por menor capacidad de retención de agua, como se observó en el presente estudio. Mudgil (2017) planteó que la capacidad de adsorción de agua no es más que la capacidad que tiene la fibra de hincharse y retener agua en su matriz fibrosa, lo que se relaciona con el contenido fibroso y depende de las proporciones relativas de los polisacáridos que la componen. La hemicelulosa posee mayor poder higroscópico que la celulosa, y es casi nulo en la lignina (González et al. 2007). Ello explica el comportamiento de la CAA en la torta de Sacha inchi, que mostró bajos contenidos de hemicelulosa y lignina.

La composición de macrominerales fue superior en el lote tres respecto al dos (tabla 2). El lote uno no difirió de estos dos para calcio y potasio, en tanto disminuyó y aumentó, respectivamente, para fósforo, y para el magnesio fue similar al uno. Estos resultados se corresponden con los registrados en la concentración de cenizas (tabla 1), que es baja si se compara con tortas de soya, colza y girasol (6.8, 5.6-7.0, 5.7-7.5 %, respectivamente) (Arrutia et al. 2020). El contenido de cenizas y, por tanto, de minerales presentes en la torta se puede atribuir a las características edafoclimáticas del cultivo de la planta (Martínez 2022).

Como muestra la tabla 2, el fósforo fue el macromineral más abundante en la torta. La relación calcio-fósforo es de vital importancia, ya que cuando aumentan las concentraciones séricas del calcio disminuyen las del fósforo y viceversa. Esta relación varía en dependencia de la especie animal y la fase de vida. El calcio y el fósforo compiten entre sí en la absorción intestinal. Ambos son esenciales para la salud ósea y el mantenimiento del equilibrio mineral óptimo del organismo. Su localización corporal es esencialmente ósea y participan en la formación del esqueleto y los dientes (Dolores 2020).

El calcio actúa en la contracción muscular, excitabilidad nerviosa, coagulación de la sangre o en la secreción de glándulas exocrinas. El fósforo tiene importantes funciones metabólicas, al participar en la regulación de enzimas y almacén energético. Es un componente de los ácidos nucleicos y de los fosfolípidos presentes en los tejidos (Carbajal 2017).

Tabla 2. Composición de macrominerales de la torta de Sacha inchi

Indicadores (%)	Lotes			EE±	p-valor
	Uno	Dos	Tres		
Ca	0.19 ^{ab}	0.17 ^b	0.22 ^a	0.010	0.0124
P	0.79 ^b	0.72 ^c	0.85 ^a	0.020	0.0006
Mg	0.12 ^b	0.13 ^b	0.14 ^a	0.003	0.0045
K	0.24 ^{ab}	0.23 ^b	0.26 ^a	0.010	0.0255
Na	0.44	0.49	0.38	0.090	0.6586

^{a,b,c}Valores con letras diferentes dentro de la misma fila difieren significativamente a P<0.05 (Duncan 1955)

El magnesio interviene en el mantenimiento de los huesos, dientes y corazón. Participa en el metabolismo energético, la liberación de glucosa y la formación de proteínas. También regula la función de los músculos y el sistema nervioso, la presión sanguínea y el equilibrio electrolítico. Contribuye a la formación de ADN y a la disminución del cansancio y la fatiga. El magnesio interviene en la formación de los huesos y es indispensable para un gran número de reacciones enzimáticas (Sarli 2015).

El potasio y el sodio también se manifestaron con valores elevados, seguidos del fósforo (tabla 2). La bomba sodio-potasio es un proceso fisiológico importante que se realiza entre las células, durante el cual se produce un intercambio de iones de potasio por iones de sodio. Se conoce como un proceso de transporte activo, vital para el funcionamiento celular. La función principal del potasio (elemento intercelular), sodio y cloro (elementos extracelulares) reside en la regulación de la presión osmótica celular (Montagud 2020).

El análisis cualitativo de los metabolitos secundarios se muestra en la tabla 3. Los tres lotes evidenciaron resultados similares, sin diferencias para cada grupo de compuestos estudiados. El ensayo de saponinas realizado a la muestra de cada lote dejó ver resultados positivos, con un índice de espuma sostenida de aproximadamente 2 cm durante más de 5 min. Estos compuestos tienen propiedades tensioactivas, es decir, que reducen la tensión superficial de un líquido y crean espuma (Góngora-Chi et al. 2023). La presencia abundante de saponinas para los tres lotes se puede asociar a la variedad de la planta o a las condiciones de cultivo, como el suelo, la temperatura y el riego.

Las saponinas pueden disminuir la palatabilidad de los alimentos, inactivan el metabolismo dietético de las proteasas, lipasas y amilasas, necesarias para la digestibilidad (Lozada-Salcedo 2017). A las saponinas presentes en tortas de oleaginosas como la soya, girasol y cáñamo se les han atribuido efectos negativos. Se describen la hemólisis, interferencia en los ácidos biliares, vitaminas liposolubles, colesterol y lípidos dietarios (Ancuta y Sonia 2020).

La presencia de grupos α amino en las muestras fue positiva para los tres lotes y tomaron una coloración azul violácea. Entre los metabolitos secundarios que presentan estos grupos se encuentran las lectinas, los inhibidores de proteasas (tripsina y quimiotripsina) y los aminoácidos no proteicos. Estos poseen diferentes efectos antinutricionales, cuando se encuentran en elevadas concentraciones.

Los inhibidores de tripsina, por ejemplo, pueden reducir la digestibilidad de la proteína, cuando su presencia es abundante en tortas de oleaginosas como la de soya, girasol, sésamo, maní, cáñamo y lino (Ancuta y Sonia 2020). En la torta de soya, la abundancia de estos compuestos puede inhibir el crecimiento (Loeffler et al. 2013) y aumentar el tamaño del páncreas en pollos en etapa de crecimiento (Beukovic et al. 2012).

Tabla 3. Análisis cualitativo de metabolitos secundarios en la torta de Sacha inchi (lotes 1, 2 y 3)

Ensayo	Resultado (Lotes 1, 2 y 3)
Saponinas	+++
Grupos α amino	+++
Fenoles	---
Taninos	+/-
Alcaloides	---
Flavonoides	---

+++; Positivo ---; Negativo +/-; Inconcluso

En la literatura científica consultada no se encontraron suficientes estudios de la torta de Sacha inchi, donde se asocien efectos antinutricionales en animales por elevadas concentraciones de metabolitos secundarios. Hurtado-Ramírez et al. (2014) relacionaron efectos hepatotóxicos y cambios en los niveles normales de hematocrito, hemoglobina y alanina aminotransferasa en aves de postura de la Línea Hy Line Brown, que consumieron torta de Sacha inchi, producto de la presencia abundante de saponinas. Por estas razones, es necesario utilizar diferentes procesamientos para reducir el contenido de metabolitos secundarios.

La presencia de fenoles en las muestras de los tres lotes fue negativa, y no hubo variación al añadir FeCl_3 . La ausencia de cambio en la coloración indica que las tortas evaluadas no contienen fenoles en cantidades significativas, con concentraciones muy bajas para ser detectados en la prueba. En las muestras analizadas correspondientes a los tres lotes, los alcaloides y flavonoides tampoco se identificaron. El resultado de taninos fue inconcluso, debido a la concentración baja de los mismos, o a la presencia de otros compuestos que pudieron interferir en la reacción.

Conclusiones

De acuerdo con lo planteado, se concluye que la composición química de la torta cruda de *Plukenetia volubilis* L. (Sacha inchi) varía entre lotes de producción, excepto en el contenido de proteína, lignina, hemicelulosas y las propiedades físicas de la fracción fibrosa. Esto demuestra la importancia de considerar las diferencias entre lotes, al trabajar con este subproducto en futuras investigaciones.

Agradecimientos

Se agradece a las investigadoras, técnicas y laboratoristas de la UCELAB y el CIPB por sus aportes en los análisis de laboratorio de las muestras de la torta de Sacha inchi.

Referencias

- Alcívar, J.L. 2022. Evaluación de la torta de Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) como fuente alternativa de proteínas para pollos de engorde. Tesis en opción al título académico de Doctor en Ciencias Veterinarias. Instituto de Ciencia Animal, Mayabeque, Cuba, 100pp.
- Alcívar, J.L., Martínez, M., Lezcano, P., Scull, I. & Valverde, A. 2020. Technical note on the physical-chemical composition of Sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) cake. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 54(1): 19-23, ISSN: 2079-3480. <https://www.cjascience.com/index.php/CJAS/article/view/934/1002>.
- Ancuta, P. & Sonia, A. 2020. Oil Press-Cakes and Meals Valorization through Circular Economy Approaches: A Review. *Applied Sciences*, 10(21): 7432, ISSN: 2076-3417. <https://doi.org/10.3390/app10217432>.
- Association of Official Analytical Collaboration (AOAC) International. 2019. Chapter 4: Official Methods of Analysis of AOAC International. In: Animal Feed. Volumen 1. Dr. George Latimer, Jr. Editor, 21st ed., p. 1-77, ISBN: 9780935584899.
- Arrutia, F., Binera, E., Williams, P. & Waldron, K.W. 2020. Oilseeds beyond oil: Press cakes and meals supplying global protein requirements. *Trends in Food Science & Technology*, 100: 88-102, ISSN: 1879-3053. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.044>.
- Beukovic, D., Beukovic, M., Ljubojevic, D., Stanacev, V., Bjedov, S. & Ivkovic, M. 2012. Effect soybean heat treatment on broiler slaughter traits. In: Third International Scientific Symposium "Agrosym Jahorina 2012". Available at: http://www2.agrosym.rs.ba/agrosym/agrosym_2012/isbn.html. [Consulted: January 20, 2024].
- Carbajal, Á. 2013. Manual de Nutrición y Dietética. Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España, 367pp.
- Dellepiane, A.V., Sánchez, G.E. & Chamorro, A.M. 2023. Importancia económica, usos y propiedades de lino, colza y cártamo. In: Lino, colza y cártamo. Oleaginosas que aportan a la diversificación productiva. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata EDULP, Buenos Aires, Argentina. Available at: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/158499>. [Consulted: January 15, 2024].
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., González, L., Tablada, M. & Robledo, C.W. 2012. InfoStat. version 2012, [Windows], Universidad Nacional de Córdoba, Argentina: Grupo InfoStat, Available at: <http://www.infostat.com.ar>. [Consulted: January 05, 2024].
- Dolores, M. 2020. Alteraciones del metabolismo mineral: calcio, fósforo, PTH, vitamina D, FGF-23, Klotho. Edición del Grupo Editorial Nefrología de la Sociedad Española de Nefrología, Available at: <https://www.nefrologiaaldia.org/es-articulo-alteraciones-del-metabolismo-mineral-calcio-fosforo-pth-vitamina-d-fgf-311>. [Consulted: February 08, 2024].
- Duncan, D.B. 1955. Multiple Range and Multiple F Tests. *Biometrics*, 11(1): 1-42, ISSN: 0006-341X. <https://doi.org/10.2307/3001478>.
- Goering, H.K. & Van Soest, P.J. 1970. Forage fiber analyses: Apparatus, reagent, procedures and some applications. In: Agriculture Handbook No. 379. Ed. U.S.D.A. Agricultural Research Service, Department of Agriculture, United States of America.
- Góngora-Chi, G.J., Lizardi-Mendoza, J., López-Franco, Y.L., López-Mata, M.A. & Quihui-Cota, L. 2023. Métodos de extracción, funcionalidad y bioactividad de saponinas de Yucca: una revisión. *Biotechnia*, 25(1): 147-155, ISSN: 1665-1456. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v25i1.1800>.
- González, J.M., Jiménez, E., Lázaro, R. & Mateos, G.G. 2007. Effect of type of cereal, heat processing of the cereal, and inclusion of fiber in the diet on productive performance and digestive traits of broilers. *Poultry Science*, 86(8): 1705-1715, ISSN: 0032-5791. <https://doi.org/10.1093/ps/86.8.1705>.
- Herrera, R. 1976. Estudio bioclimático del Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba: Boletín técnico. Ediciones ICA.
- Hua, M., Lu, J., Qu, D., Liu, C., Zhang, L., Li, S., Chen, J. & Sun, Y. 2019. Structure, physicochemical properties and adsorption function of insoluble dietary fiber from ginseng residue: A potential functional ingredient. *Food Chemistry*, 286: 522-529, ISSN: 0308-8146. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.114>.
- Hurtado-Ramírez, L.L., Paredes-López, D. & Robles-Huaynate, R. 2014. Efecto de la torta de Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en el perfil sanguíneo e histopatología del hígado de aves de postura. *Ciencia amazónica (Iquitos)*, 4(1): 60-66, ISSN: 2221-5948. <http://dx.doi.org/10.22386/ca.v4i1.69>.
- Loeffler, T., Shim, M.Y., Beckstead, R.B., Batal, A.B. & Pesti, G.M. 2013. Amino acid digestibility and metabolizable energy of genetically selected soybean products. *Poultry Science*, 92(7): 1790-1798, ISSN: 0032-5791. <http://dx.doi.org/10.3382/ps.2012-02299>.
- Lozada-Salcedo, E.E., Núñez-Torres, O.P., Rosero-Peñaherrera, M.A. & Aragadvay-Yungan, R.G. 2017. Efectos fisiopatológicos de los compuestos secundarios en la alimentación de monogástricos. *Journal of the Selva Andina Animal Science*, 4(1): 82-92, ISSN: 2311-3766. http://www.scielo.org.bo/pdf/jsaas/v4n1/v4n1_a07.pdf.
- Marrero, A.I. 1998. Contribución al estudio de la utilización de la fibra dietética en gallináceas. Tesis en opción al título académico de Doctor en Ciencias Veterinarias, Instituto de Ciencia Animal, La Habana, Cuba, 100pp.
- Martínez-Pérez, M. 2010. Caracterización de la harina de forraje de Mucuna sp. y su evaluación en la fisiología digestiva del pollo de ceba. Tesis en opción al título académico de Doctor en Ciencias Veterinarias. Instituto de

- Ciencia Animal y Universidad Autónoma de Yucatán, La Habana, Cuba.
- Martínez-Pérez, M., Vives, Y., Rodríguez, B., Pérez, O.G. & Herrera, M. 2021. Valor nutritivo de la harina de palmiche, fruto de la palma real (*Roystonea regia*), en la alimentación de pollos de ceba. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 55(3): 305-313, ISSN: 2079-3480. <http://scielo.sld.cu/pdf/cjas/v55n3/2079-3480-cjas-55-03-305.pdf>.
- Martínez, P.A. 2022. Caracterización de las propiedades tecnológicas de la torta residual de Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.): para su aprovechamiento en un producto panificado. Tesis de Diploma, Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia, 41pp.
- Mannucci, A., Castagna, A., Santin, M., Serra, A., Mele, M. & Ranieri, A. 2019. Quality of flaxseed oil cake under different storage conditions. *LWT- Food Science and Technology*, 104: 84-90, ISSN: 0023-6438. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.01.035>.
- Miranda, M. & Cuellar, A. 2000. Manual de prácticas de laboratorio: Farmacognosia y productos naturales. Facultad de Farmacia y Alimentos de la Universidad de la Habana, La Habana, Cuba, 10pp.
- Montagud, N. 2020. Bomba sodio-potasio: qué es y cuáles son sus funciones en la célula. In: *Psicología y Mente*, España. Available at: <https://psicologiymente.com/neurociencias/bomba-sodio-potasio>. [Consulted: April 15, 2014].
- Mudgil, D. 2017. The Interaction Between Insoluble and Soluble Fiber. *Dietary Fiber for the Prevention of Cardiovascular Disease*, 3: 35-59. Chapter 3. ISSN: 978-0-12-805130-6. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805130-6.00003-3>.
- Oryschak, M.A., Smit, M.N. & Beltranena, E. 2019. *Brassica napus* and *Brassica juncea* extruded-expelled cake and solvent-extracted meal as feedstuffs for laying hens: Lay performance, egg quality, and nutrient digestibility. *Poultry Science*, 99(1): 350-363, ISSN: 0032-5791. <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pez501>.
- PNO: PO.III.49. 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. 3p.
- Sánchez, A., Gómez-Guerrero, B. & Billiris, A. 2020. Almacenamiento de arroz: influencia en la inocuidad del grano. *Revista del Laboratorio tecnológico del Uruguay (INNOTECH)*, 19: 109-124, ISSN: 1688-6593. <https://doi.org/10.26461/19.0810.26461/19.08>.
- Sarli, M. 2015. Funciones fisiológicas del calcio, fósforo y magnesio. Tesis en opción al título académico de Máster. Universidad de Salamanca, Salamanca, España, 37pp.
- Savón, J.R., Gutiérrez, O., González, T. & Orta, M. 1999. Manual de caracterización físico-química de alimentos. Editorial EDICA, La Habana, Cuba, 10pp.
- Scull, I., García, Y., Ortega, D., Albelo, N., Sosa, D., Valiño, E.C. & 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, ISSN: 2079-3480. <https://www.cjas-science.com/index.php/CJAS/article/view/1075>.
- Seoane, J.R., Coté, M., Séríais, O. & Laforest, J.P. 1981. Prediction of the nutritive value of alfalfa and timothy feed as hay to growing sheep. *Canadian Journal of Animal Science*, 61: 403-413, ISSN: 0008-3984. <https://doi.org/10.4141/cjas81-048>.
- Solomon, J. 2018. Evaluation of oil cakes from amarula (*Sclerocarya birrea*), macadamia (*Integrifolia*) and baobab (*Adansonia digitate* L.) as protein supplements for ruminant diets. Tesis en opción al título académico de Máster. Universidad de South África, South África, 70pp.
- Srichamnong, W., Ting, P., Pitchakarn, P., Nuchuchua, O. & Temviriyankul, P. 2018. Safety assessment of *Plukenetia volubilis* (Inca peanut) seeds, leaves, and their products. *Food Science & Nutrition*, 6(4): 962-969, ISSN: 2048-7177. <https://doi.org/10.1002/fsn3.633>.
- Terrien, C. 2017. Available pretein substitutes. In: *Meat analogs: challenges and perspectives*, London, England. Chapter 3. Available at: https://uchile.alma.exlibrisgroup.com/discovery/fulldisplay?docid=alma991007533515503936&context=L&vid=56UDC_INST:56UDC_INST&lang=es&search_scope=My_CI_and_Local_Avail&adaptor=Local%20Search%20Engine&tab=Everything&query=sub,exact,%20Substitutes%20,AND&mode=advanced&offset=0. [Consulted: January 10, 2024].
- Vichare, S.A. & Morya, S. 2024. Exploring waste utilization potential: nutritional, functional and medicinal properties of oilseed cakes. *Frontiers in Food Science and Technology*, 4: 1441029, ISSN: 2674-1121. <https://doi.org/10.3389/frfst.2024.1441029>.
- Vujetić J.C., Spasevski N.J. & 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, ISSN: 2217-5369. <https://doi.org/10.5937/ffr0-50500>.
- Wang, S., Zhu, F. & Kakuda, Y. 2018. Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.): Nutritional composition, biological activity, and uses. *Food Chemistry*, 265: 316-328, ISSN: 0308-8146. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.055>.
- Wrolstad, R.E. 2012. Nutritional roles of carbohydrates. In: *Food carbohydrate chemistry*, USA. Chapter 9. Available at: <https://doi.org/10.1002/9781118688496.ch9>. [Consulted: April 06, 2024].
- Zajac, M., Kiczorowska, B., Samolinska, W., Kowalczyk-pecka, D., Andrejko, D. & 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, ISSN: 0032-5791. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101118>.