

## Digestibilidad y degradabilidad *in vitro* de dietas con torta de sachá inchi en rumiantes

*In vitro* digestibility and degradability of diets with sachá inchi cake in ruminants

Juan Carlos Henao Zambrano<sup>1,3</sup>, Olga Teresa Barreto-Cruz<sup>1</sup>, Román David Castañeda-Serrano<sup>2</sup>, Andrés Mejía Gallego<sup>1</sup>

### RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue caracterizar química y nutricionalmente la torta generada de la extracción de aceite de la semilla de sachá inchi, y evaluar parámetros digestibilidad y degradabilidad *in vitro* de dietas para rumiantes con diferentes niveles de inclusión. Se hizo la determinación de la materia seca (MS), proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), fibra en detergente neutro (FDN) y fibra en detergente ácido (FDA) de la torta de sachá inchi. Se evaluaron cuatro dietas a base de ensilaje de maíz, grano de maíz, glicerol, torta de soya y torta de sachá inchi como sustituyente proteico de la torta de soya, en cuatro proporciones (0, 5, 10 y 15%). Se realizó un perfil de aminoácidos y la digestibilidad y cinética de degradación de la MS. Para el estudio de la degradabilidad se tomaron muestras a las 0, 3, 6, 12, 24, 48 y 96 horas para determinar el desaparecimiento de la MS. La torta mostró una concentración de 40.8% de PC. Los valores de lisina y treonina fueron de 2.28 y 1.89 g/100 g muestra, respectivamente. La digestibilidad *in vitro* de las dietas no mostró diferencias significativas entre las dietas. La cinética de degradación ruminal de las dietas fue similar en todos los horarios excepto a las 0 y 96 h, mostrando un leve descenso entre las 0 y 6 h, para luego aumentar en todas las dietas. Los resultados indican que la torta de sachá inchi es una buena alternativa alimenticia en rumiantes y representa una opción importante como sustituto de la torta de soya como fuente proteica.

**Palabras clave:** cinética, degradación, aminoácidos, lisina, treonina

<sup>1</sup> Universidad Cooperativa de Colombia, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Grupo de Investigación en Medicina y Producción Tropical Animal - IMPRONTA, Ibagué, Tolima, Colombia

<sup>2</sup> Universidad del Tolima, Departamento de Producción Animal, Grupo de Investigación en Sistemas Agroforestales Pecuario, Ibagué, Tolima, Colombia

<sup>3</sup> E-mail: [juan.henaoz@campusucc.edu.co](mailto:juan.henaoz@campusucc.edu.co)

Recibido: 14 de marzo de 2020

Aceptado para publicación: 3 de octubre de 2020

Publicado: 21 de diciembre de 2020

## ABSTRACT

The aim of this work was to characterize chemically and nutritionally the cake generated from the extraction of oil from the sacha inchi seed, and to evaluate the *in vitro* digestibility and degradability parameters of ruminant diets with different inclusion levels. The determination of the dry matter (DM), crude protein (CP), ether extract (EE), fibre in neutral detergent (NDF) and fibre in acid detergent (FDA) of the sacha inchi cake was conducted. Four diets based on corn silage, corn grain, glycerol, soybean cake and sacha inchi cake were evaluated as protein substituents for soybean cake, in four proportions (0, 5, 10 and 15%). An amino acid profile and the digestibility and degradation kinetics of DM were performed. For the degradability study, samples were taken at 0, 3, 6, 12, 24, 48 and 96 hours to determine the disappearance of DM. The cake showed a concentration of 40.8% CP. The lysine and threonine values were 2.28 and 1.89 g/100 g sample, respectively. The *in vitro* digestibility of the diets did not show significant differences between them. The ruminal degradation kinetics of the diets was similar except at 0 and 96 h, showing a slight decrease between 0 and 6 h, to later increase in all diets. The results indicate that sacha inchi cake is a good feed alternative in ruminants and represents an important option as a substitute for soybean cake as a protein source.

**Key words:** kinetics, degradation, amino acids, lysine, threonine

## INTRODUCCIÓN

Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L) es una planta tropical originaria de las selvas amazónicas de Suramérica (Wang *et al.*, 2018), perteneciente a la familia de las Euforbiáceas, conocida también como sacha maní, maní jíbaro y maní del inca, la cual sirvió como fuente de alimento a tribus de la Amazonía en la antigüedad (López *et al.*, 2016). En comparación con productos de otras plantas oleaginosas, el aceite extraído de la semilla de sacha inchi posee una gran composición de ácidos grasos polinsaturados, con más de 75% de ácido linolénico (Maurer *et al.*, 2012; Benítez *et al.*, 2018), que lo convierten en una opción promisoriosa para la alimentación humana.

De acuerdo con Gutiérrez *et al.* (2011), el aceite de sacha inchi tiene un perfil de ácidos único, con altos valores de á-linolénico (50.8%) y linoleico (33.4%), además de los ácidos oleico, palmítico y esteárico, con valo-

res de 9.1, 4.4 y 2.4%, respectivamente. En forma similar, Aranda-Ventura *et al.* (2019), estudiando el aceite de *Plukenetia volubilis* L, encontraron una composición rica en ácidos grasos esenciales ( $\alpha$ -linolénico y linoleico) con un inigualable balance de omega6/omega3, además de presentar estabilidad oxidativa y no inducir genotoxicidad.

Producto de la extracción del aceite, la torta de sacha inchi se presenta como un alimento de interés en nutrición animal por su disponibilidad y alto valor biológico (Zambrano y Barreto, 2016). Son escasos los trabajos sobre el valor nutricional de la torta de sacha inchi en dietas para rumiantes (Guamaní, 2018), al igual que su caracterización nutricional en cuanto fracciones degradables, de allí que se requiere evaluar su posible uso como sustituto de fuentes proteicas. Además, los datos reportados sobre su perfil de aminoácidos no son consistentes (Ruiz *et al.*, 2013). Tampoco hay trabajos sobre su uso en la alimentación de rumiantes y sus efectos sobre la fermentación

Cuadro 1. Dietas con cuatro niveles de inclusión de torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L) en sustitución por soya

Ítem	Inclusión de torta de sachá inchi en porcentaje de materia seca (MS)			
	0%	5%	10%	15%
<b>Ingrediente</b>				
Ensilaje de maíz	60	60	60	60
Maíz molido	20	20	20	20
Glicerol	0.5	0.5	0.5	0.5
Torta de soya	15	10	5	0
Torta de sachá inchi	0	5	10	15
<b>Composición bromatológica (%)</b>				
Proteína cruda (PC)	13.1	12.7	12.3	11.9
Extracto etéreo	4.7	6.1	7.5	8.9
Fibra detergente neutro (FDN)	23	24.2	25.4	26.6
Fibra detergente ácido (FDA)	12.8	13.1	13.9	14.1

ruminal y la digestibilidad *in vitro* de alimentos. Es así que el objetivo de este trabajo fue caracterizar bromatológicamente la torta generada de la extracción de aceite de la semilla de sachá inchi, y evaluar la digestibilidad y degradabilidad *in vitro* de dietas para rumiantes con diferentes niveles de inclusión.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación del Estudio

El experimento fue realizado en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Cooperativa de Colombia (Ibagué). La torta de sachá inchi provino de empresas productoras de aceite de sachá inchi, ubicadas en el municipio de Fresno, departamento del Tolima (Colombia). Esta torta fue obtenida por extracción en frío sin adicción de solventes.

### Caracterización Bromatológica

La composición bromatológica se determinó utilizando métodos AOAC (2000) para materia seca (MS; método número 930.15), proteína cruda (PC, método número 992.15) y extracto de éter (EE, método número 920.39). La fibra detergente neutra (FDN) se determinó de acuerdo con Van Soest *et al.* (1991) con modificación de Mertens (2002). Los nutrientes digestibles totales (NDT) se calcularon de acuerdo con las ecuaciones propuestas por Sniffen *et al.* (1992).

### Determinación de Aminoácidos

Se realizó un perfil de aminoácidos de la torta de sachá inchi en el laboratorio de análisis instrumental de la Universidad Nacional de Colombia, Medellín, a través del proceso de hidrólisis (AOAC 994.12). La solución final fue trabajada siguiendo la metodología descrita por Henderson *et al.* (2000).

## Inóculo Ruminal

Se utilizó un toro producto de cruces de Gyr y Holstein de aproximadamente 36 meses de edad y 350 kg de peso vivo, alimentado dos veces al día con acceso libre al agua. La dieta suministrada durante 21 días previos a la colecta del líquido ruminal fue formulada con base en ensilaje de maíz (alimento voluminoso), grano de maíz molido, glicerol, torta de soya y torta de sacha inchi y minerales (alimento concentrado), contenía 12.7% de PC, 24.2% de FDN y 55.6% de NDT con base en MS, de acuerdo con los requerimientos del NRC (2016) (Cuadro 1). El inóculo ruminal fue obtenido vía cánula ruminal con auxilio de bomba de vacío de la parte media y ventral del rumen.

El líquido ruminal fue colectado en garrafa térmica y mantenido a temperatura de 39 °C. Se colectaron dos porciones de material fibroso para mantener sustrato para los microorganismos hasta su procesamiento. El termo fue gaseado con CO<sub>2</sub> y transportado al laboratorio para su procesamiento. El líquido fue filtrado a través de cuatro capas de gasa y posteriormente utilizado para los análisis *in vitro*.

## Digestibilidad *in vitro* y Cinética de Degradación

La digestibilidad y cinética de degradación de la materia seca y proteína cruda fue realizada en incubador Daisy II® (ANKOM Corp, USA). En el estudio de la degradabilidad se tomaron muestras a las 0, 3, 6, 12, 24, 48 y 96 horas para determinar el desaparecimiento de la MS de acuerdo con la metodología de Orskov y McDonald (1979). Las curvas de degradación fueron ajustadas asumiendo que la desaparición de la MS de los sacos Ankom en el tiempo sigue un proceso cinético de primer orden, descrito por la ecuación  $P(t) = a + b(1 - \exp(-c * t))$ .

## Dietas Experimentales

Se formularon y evaluaron cuatro dietas (correspondientes a los tratamientos propuestos) a base de ensilaje de maíz, grano de maíz, glicerol, torta de soya y torta de sacha inchi como sustituyente proteico de la torta de soya, en cuatro proporciones (0, 5, 10 y 15%).

Las muestras obtenidas fueron preparadas con un molino de cuchilla con criba de 1 mm para la determinación del contenido de materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína bruta (PB), materia mineral (MM), fibra en detergente neutro (FDN) y fibra en detergente ácido (FDA), de acuerdo con la metodología descrita por Silva y Queiroz (2002).

La determinación de la digestibilidad *in vitro* de la MS (DIVMS) de los tratamientos se realizó de acuerdo con la metodología de Tilley y Terry (1963), adaptada al rumen artificial (DAISY II®) desarrollado por ANKOM®.

## Digestibilidad *in vitro* de la Materia Seca (DIVMS)

Las muestras de cada dieta (0.5 g), previamente molida fueron colocadas en bolsas filtro F57 ANKOM®. Las bolsas se introdujeron en jarras de incubación, a las cuales les fueron agregadas las soluciones tampón A y B, junto al inóculo ruminal, e introducidas en la incubadora DAISY II® durante 48 h, garantizando una temperatura de 39 °C. Al término de este periodo se les agregó 40 ml de HCl al 6N y 8 g de pepsina (EC 3.4.23.1 Sigma®) dejando las muestras por 24 h adicionales en la incubadora. Luego, las bolsas fueron secadas a 105 °C durante 8 h. La DIVMS fue calculada por la diferencia entre el alimento incubado y el residuo después de la incubación.

### Cinética de Degradación Ruminal

La cinética de degradación ruminal se determinó de forma paralela a la DIVMS usando DAISY II<sup>®</sup>, teniendo como tiempos de incubación 3, 6, 12, 24, 48 y 96 h para cada una de las dietas. Los parámetros de la degradación ruminal *in vitro* de la MS se calcularon utilizando la ecuación descrita por Orskov y McDonald (1979):  $p = \alpha + b(1 - e^{-ct})$ , donde: p = velocidad de degradación en el tiempo t;  $\alpha$  = fracción soluble en agua; b = fracción de agua insoluble, potencialmente degradable; c = velocidad de degradación de la fracción b; t = tiempo de incubación.

La degradabilidad efectiva (DE) de la MS se calculó usando la ecuación:  $DE = \alpha + (b \times c) / (c + k)$ , donde k es la velocidad del paso de partículas en el rumen. La degradabilidad efectiva de la MS *in vitro* se estimó para cada dieta, teniendo en cuenta las tasas de pasaje de 2, 5 y 8%/h, valores que contribuyen a estimar niveles de consumo bajo, medio y alto, respectivamente. La degradabilidad potencial se calculó usando la ecuación:  $DP = a + b$ .

### Análisis Estadístico

Los resultados obtenidos fueron analizados mediante un análisis de varianza y de regresión. Los parámetros de la degradación

Cuadro 2. Composición bromatológica de la torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*)

Componente (%)	Sachá inchi
Materia seca	98.2
Proteína bruta	40.8
Fibra detergente neutro	40.5
Fibra detergente ácido	23.1
Extracto etéreo	39.6

ruminal *in vitro* fueron estimados utilizando el proceso interactivo de Gauss-Newton por medio del procedimiento para modelos no lineales (PROC NLIN) del programa InfoStat<sup>®</sup> v. 2008. Todos los procedimientos estadísticos fueron evaluados utilizando el procedimiento PROC REG del programa estadístico InfoStat<sup>®</sup> v. 2008.

## RESULTADOS

El resultado del análisis bromatológico de la torta de sachá inchi se muestra en el Cuadro 2. Se observó un alto contenido proteico (40.8%). El perfil de aminoácidos se presenta en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Perfil de aminoácidos de la torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*)

Aminoácido	g/100 g muestra
ASP L-Aspartic acid	5.07
THR L-Threonine	1.89
SER L-Serine	2.34
GLU L-Glutamic acid	5.40
GLY Glycine	4.56
ALA L-Alanine	1.64
VAL L-Valine	3.06
ILE L-Isoleucine	1.90
LEU L-Leucine	3.04
TYR L-Tyrosine	2.33
PHE L-Phenylalanine	1.15
LYS L-Lisine	2.28
HIS L-Histidine hydrochloride	0.30
ARG L-Arginine hydrochloride monohydrate	4.67

Los análisis de digestibilidad *in vitro* de la MS no evidenciaron diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 4). En la cinética de degradación ruminal se observó diferencias significativas entre las dietas con

Cuadro 4. Digestibilidad *in vitro* de la materia seca de dietas con cuatro niveles de inclusión de torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) en sustitución por soya

Tratamiento	DIVMS (%)
T1 (0%)	69.06
T2 (5%)	67.23
T3 (10%)	65.92
T4 (15%)	66.09

P valor = 0.0628

excepción de la hora 0 y la hora 96 de incubación (Cuadro 5). También se observó una tendencia de descenso en la cinética de degradación ruminal hasta la hora 6 en todos los tratamientos y un aumento aparentemente constante hasta la hora 96 (Figura 1).

## DISCUSIÓN

La torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) presentó alta concentración de contenidos proteicos (40.8%). Otros estudios reportan concentraciones similares; así, 41.5% fue reportado por Alcívar *et al.* (2020) en Manabí, Ecuador, 56.6% por Rawdkuen *et al.* (2016) y 59% por Ruiz *et al.* (2013). No obstante, estos autores encontraron niveles de EE diferentes al del presente estudio, en tanto que Mondragón (2009) reportó 37.3% en base seca, nivel similar al 39.6% del presente trabajo. Estas diferencias, según Benítez *et al.* (2018), quienes realizaron la caracterización química de la semilla y la torta de sachá inchi en la Amazonia colombiana, puede ser explicada por el método de extracción de aceite de la semilla, ya que procesos de extracción en frío permiten mantener un mayor porcentaje de extractos solubles en éter de la torta.

Cuadro 5. Cinética de degradación (%) de dietas con cuatro niveles de inclusión de torta de sachá inchi<sup>1</sup> (*Plukenetia volubilis*) en sustitución por soya

Incubación (horas)	Tratamientos <sup>1</sup>				EEM <sup>2</sup>	p-value lineal
	T1	T2	T3	T4		
0	27.4	29.2	28.1	28.0	0.40	0.923
3	24.6 <sup>a</sup>	25.9 <sup>a</sup>	18.0 <sup>b</sup>	22.5 <sup>ab</sup>	1.37	0.928
6	23.7 <sup>a</sup>	24.4 <sup>a</sup>	19.2 <sup>b</sup>	18.2 <sup>b</sup>	0.79	0.106
12	35.4 <sup>a</sup>	34.2 <sup>ab</sup>	29.7 <sup>c</sup>	32.0 <sup>bc</sup>	0.67	0.247
24	57.6 <sup>a</sup>	58.3 <sup>a</sup>	48.3 <sup>b</sup>	49.2 <sup>b</sup>	1.74	0.490
48	73.3 <sup>a</sup>	67.6 <sup>ab</sup>	64.2 <sup>bc</sup>	57.4 <sup>c</sup>	1.80	0.007
96	82.2	81.9 <sup>a</sup>	75.0 <sup>a</sup>	81.8 <sup>a</sup>	1.63	0.702

<sup>1</sup> T1, T2, T3, T4: 0, 5, 10 y 15% de torta de sachá inchi como sustituyente proteico de la torta de soya

<sup>2</sup> Error estándar de la media

<sup>a,b,c</sup> Superíndices con letras diferentes indican diferencia significativa (p<0.05)

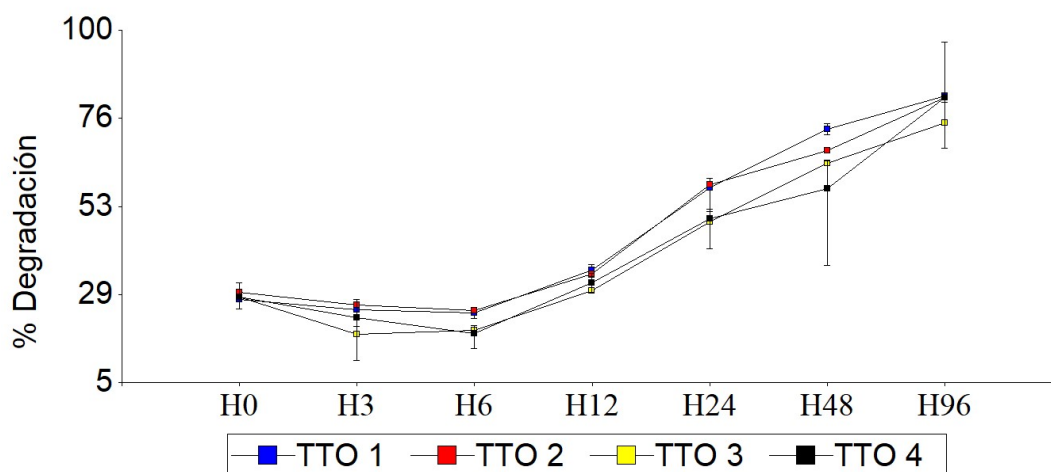


Figura 1. Cinética de degradación de dietas con cuatro niveles de inclusión de torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) en sustitución por soya (T1, T2, T3, T4: 0, 5, 10 y 15% de torta de sachá inchi)

En el presente trabajo se obtuvieron valores de 40.5% de FDN y 23.1% de FDA. Son escasos los reportes de fibra en detergente neutro y fibra en detergente ácido en la torta de sachá inchi; sin embargo, Quintana (2019) presenta valores de FDN de 45.4%, en tanto que Alcívar *et al.* (2020), haciendo una nota técnica sobre la composición fisicoquímica de la torta de sachá inchi, reportó valores de FDN de 16.64% y de FDA de 12.70%, valores sustancialmente menores a los encontrados en este trabajo.

El contenido de treonina y lisina presente en la torta muestra valores equiparables con los de la torta de soya. En este sentido, Vélez (2013), haciendo un estudio exploratorio sobre la torta de sachá inchi para uso en nutrición animal, reportó valores de 1.82% de treonina y 2% de lisina, mientras que para la torta de soya reportó valores similares (1.85 y 2.85%, respectivamente). Es importante indicar que cuando la proteína metabolizable tiene una buena proporción de aminoácidos esenciales, se optimiza el aprovechamiento de la proteína bruta y metabolizable, además de disminuir la excreción de compuestos

nitrogenados, generando aumentos en el desempeño animal (Santos y Pedroso, 2011).

La digestibilidad *in vitro* de las dietas no se vio influenciada por los niveles de inclusión de la torta de sachá inchi, condición favorable en términos de resultado, ya que indica la ausencia de elementos y factores antinutricionales.

El comportamiento que muestran los datos de la cinética de degradación ruminal presenta un leve descenso hasta la hora 6 y, después, describe un ascenso de apariencia constante, en las cuatro dietas evaluadas. Es posible que este comportamiento se deba a la condición oleosa que presenta la torta. Benítez *et al.* (2018), comparando resultados de varios estudios que analizaron la torta de sachá inchi, reportó valores de grasas en la torta de sachá inchi del 6%; en tanto que, Mondragón (2009) presentaba valores de EE de 35.44%, condición atribuida al modo de extracción de aceite de la semilla, por prensado en frío. Es posible que el modo de extracción influya en la concentración de residuos de aceite en la torta, afectando la acti-

vidad mecánica de la microbiota ruminal en el periodo inicial del proceso.

## CONCLUSIONES

- La composición bromatológica de la torta de sachá inchi presenta características idóneas de un recurso promisorio para su uso en la alimentación animal.
- Los valores de digestibilidad y degradabilidad *in vitro* demuestran que la torta de sachá inchi puede ser considerada una opción interesante como sustituto de la torta de soya en dietas para rumiantes, con un potencial por descubrir a causa de la concentración de aminoácidos que el producto ofrece.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Comité Nacional para el Desarrollo de la Investigación en la Universidad de la Universidad Cooperativa de Colombia y a la Subdirección de la Universidad Cooperativa de Colombia, con sede en Ibagué, por el apoyo prestado.

## LITERATURA CITADA

1. **Alcívar JL, Martínez M, Lezcano P, Scull I, Valverde A. 2020.** Technical note on physical-chemical composition of sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) cake. *Cuban J Agr Sci* 54: 19-23.
2. **AOAC. 2000.** Official methods of analysis, 17<sup>th</sup> ed. Virginia, USA.
3. **Aranda-Ventura J, Villacrés-Vallejo J, Ríos-Isern F. 2019.** Composición química, características físico-químicas, trazas metálicas y evaluación genotóxica del aceite de *Plukenetia volubilis* L (*Sachá inchi*). *Rev Per Med Integrativa* 4: 4-14.
4. **Benítez R, Coronell C, Martín J. 2018.** Chemical characterization sachá Inchi (*Plukenetia volubilis*) seed: oleaginosa promising from the Colombian Amazon. *Int J Current Sci Res Rev* 1: 1-12.
5. **Guamaní S. 2018.** Efecto de la inclusión de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) en la dieta de ovinos sobre la fermentación ruminal y producción de gas *in vitro*. Tesis de Médico Veterinario Zootecnista. Ecuador: Univ. Técnica de Ambato. 37 p.
6. **Gutiérrez LF, Rosada LM, Jiménez Á. 2011.** Chemical composition of sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L) seeds and characteristics of their lipid fraction. *Grasas y Aceites* 62: 76-83. doi: 10.3989/gya044510
7. **Henderson JH, Ricker RD, Bidlingmeyer BA, Woodward C. 2000.** Rapid, accurate and reproducible HPLC analysis of amino acids. Amino acid analysis using Zorbax Eclipse AAA columns and the Agilent 1100 HPLC. Agilent Technologies Note 5980-1193E.
8. **López K, Santa Cruz C, Gutiérrez A. 2016.** Perfil de proteínas de las semillas de «sachá inchi» (*Plukenetia volubilis* L y *Plukenetia huayllabambana* Bussmann, Téllez & Glenn). *Biologist* 14: 11-20.
9. **Maurer NE, Hatta-Sakoda B, Pascual-Chagman G, Rodríguez-Saona LE. 2012.** Characterization and authentication of a novel vegetable source of omega-3 fatty acids, sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L) oil. *Food Chem* 134: 1173-1180. doi: 10.1016/j.foodchem.2012.02.143
10. **Mondragón I. 2009.** Estudio farmacognóstico y bromatológico de los residuos industriales de la extracción del aceite de *Plukenetia volubilis* L (sachá inchi). Tesis de Químico Farmacéutico. Lima, Perú: Univ. Nacional Mayor de San Marcos. 127 p.
11. **Mertens DR. 2002.** Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: collaborative study. *J AOAC Int* 85:x 1217-1240.
12. **[NRC] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2016.** Nutrient requirements of beef cattle. 8<sup>th</sup> rev. ed. Washington DC, USA:



- The National Academies Press. [Internet]. Available in: <https://doi.org/10.17226/19014>
13. **Orskov ER, McDonald I. 1979.** The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J Agr Sci* 92: 499-503. doi: 10.1017/S0021859600063048
  14. **Quintana M. 2019.** Efecto de la torta de sachá inchi (*Plukenetia huayllabambana*) en los parámetros productivos de cuyes etapa de recría. Tesis de Ingeniero Zootecnista. Chachapoyas, Perú: Univ. Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. 54 p.
  15. **Rawdkuen S, Murdayanti D, Ketnawa S, Phongthai S. 2016.** Chemical properties and nutritional factors of pressed-cake from tea and sachá inchi seeds. *Food Biosci* 15: 64-71. doi: 10.1016/j.fbio.2016.05.004
  16. **Ruiz C, Diaz C, Anaya J, Rojas R. 2013.** Proximate analysis, antinutrients, fatty acids and amino acids profiles of seed sand cakes from 2 species of sachá inchi (*Plukenetia volubilis* and *Plukenetia huayllabambana*). *Bol Soc Quim Peru* 79: 29-36.
  17. **Santos FAP; Pedroso AM. 2011.** Metabolismo de proteínas. En: *Nutrição de ruminantes*. 2° ed. Jaboticabal, Brasil: Funep. p 161-189.
  18. **Silva DJ, Queiroz AC. 2002.** Análise de alimentos (métodos químicos e biológicos). Viçosa, MG: Univ. Federal de Viçosa. 235 p.
  19. **Sniffen CJ, O'Connor JD, Van Soest PJ, Fox DG, Russell JB. 1992.** A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *J Anim Sci* 70: 3562-3577. doi: 10.2527/1992.70113562x
  20. **Tilley JM, Terry RA. 1963.** A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *J Brit Grassland Soc* 18: 104-111. doi: 10.1111/j.1365-2494.1963.tb00335.x
  21. **Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. 1991.** Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J Dairy Sci* 74: 3583-3597. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2
  22. **Vélez S. 2013.** Exploración de la sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) como fuente de proteína para uso en nutrición animal en Colombia. Tesis de Maestría. Medellín, Colombia: Univ. EAFIT. 26 p.
  23. **Wang S, Zhu F, Kakuda Y. 2018.** Sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L): nutritional composition, biological activity, and uses. *Food Chem* 265: 316-328. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.05.055
  24. **Zambrano JCH, Barreto O. 2016.** Recursos y nuevas opciones en la alimentación animal: torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*). *RIAA* 7: 83-92. doi: 10.22490/21456453.1544