

Caracterización química y digestibilidad *in vitro* de semillas y subproductos agroindustriales amazónicos con potencial para alimentación animal

Chemical characterization and *in vitro* digestibility of Amazonian seeds and agro-industrial by-products with potential for animal feed

Ives Yoplac^{1,2}, Katerin Goñas¹, Wilmer Bernal¹, Héctor V. Vásquez¹,
Jorge L. Maicelo¹

RESUMEN

Se determinaron las características químicas y digestibilidad *in vitro* de once insumos, divididos en tres grupos: semillas (sacha inchi [*Plukenetia volubilis*], higuierilla [*Ricinus communis*] y chía [*Salvia hispanica*]), subproductos derivados del arroz (nielen, cascarrilla y polvillo) y residuos agroindustriales de plantas y frutas tropicales (bagazo de caña de azúcar, pulpa de café, casco externo y mucílago de cacao [*Theobroma cacao*]), pulpa de naranja [*Citrus sinensis*] y vaina de taya [*Caesalpinia spinosa*]) con potencial en la alimentación animal. Las muestras fueron recolectadas en la región Amazonas, Perú. Se determinó su composición proximal, contenido de fibra cruda (FC), fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA), calcio y fósforo, así como la digestibilidad *in vitro* y energía bruta (EB). Las semillas oleaginosas destacaron por su alto contenido de aceites, alto valor energético e importante fuente de calcio y fósforo; el sacha inchi presentó alto contenido proteico de $28.75 \pm 0.29\%$. Los subproductos del arroz mostraron ser importantes fuentes de carbohidratos, con alta digestibilidad a excepción de la

¹ Facultad de Ingeniería Zootecnista, Agronegocios y Biotecnología, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas, Perú

² E-mail: ives.yoplac@untrm.edu.pe; <https://orcid.org/0000-0001-9524-1584>

Recibido: 10 de septiembre de 2020

Aceptado para publicación: 17 de febrero de 2021

Publicado: 23 de junio de 2021

©Los autores. Este artículo es publicado por la Rev Inv Vet Perú de la Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) [<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>] que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original

cascarilla. Este último, al igual que los residuos de caña de azúcar y cacao, mostró un alto contenido de FC, FDA y FDN. Dentro de los demás residuos agroindustriales, la pulpa de café presentó mayor contenido proteico con 9.7%; los residuos de naranja y taya mayores valores de calcio (entre 0.5 y 0.7%), fósforo (entre 0.3 y 0.5%) y alta digestibilidad (entre 93 y 95%). Por tanto, los insumos evaluados, por su composición química, bajo costo y biodisponibilidad, muestran potencial para alimentación animal.

Palabras clave: bioquímica, composición nutricional, residuos agroindustriales, semillas oleaginosas, subproductos

ABSTRACT

The chemical characteristics and *in vitro* digestibility of eleven inputs, divided into three groups were determined: seeds (sacha inchi [*Plukenetia volubilis*], castor [*Ricinus communis*] and chia [*Salvia hispanica*]), by-products derived from rice (nielen, husk and powder) and agro-industrial residues of tropical plants and fruits (sugarcane bagasse, coffee pulp, outer shell and mucilage of cocoa [*Theobroma cacao*], orange pulp [*Citrus sinensis*] and bean pod [*Caesalpinia spinosa*]) with potential in animal feed. The samples were collected in the Amazon region, Peru. Its proximal composition, crude fibre content (FC), neutral detergent fibre (NDF), acid detergent fibre (ADF), calcium and phosphorus, as well as *in vitro* digestibility and gross energy (EB) were determined. Oilseeds stood out for their high oil content, high energy value and an important source of calcium and phosphorus; sacha inchi presented high protein content of $28.75 \pm 0.29\%$. Rice by-products were shown to be important sources of carbohydrates, with high digestibility except for the husk. The latter, like the residues of sugar cane and cocoa, showed a high content of FC, FDA and NDF. Among the other agro-industrial residues, the coffee pulp presented higher protein content with 9.7%; orange and bean residues have higher calcium values (between 0.5 and 0.7%), phosphorus (between 0.3 and 0.5%) and high digestibility (between 93 and 95%). Therefore, the evaluated inputs, due to their chemical composition, low cost and bioavailability, show potential for animal feed.

Key words: biochemistry, nutritional composition, agro-industrial waste, oilseeds, subproducts

INTRODUCCIÓN

El aumento de la producción de alimentos para satisfacer las necesidades de una creciente población ha ocasionado un mayor número y volumen de subproductos (Saval, 2012), los cuales pueden alcanzar hasta el 90% del peso total del producto cosechado (Abarca *et al.*, 2010), causando un gran impacto medioambiental. La industria alimentaria aplica medidas para reducir su

impacto ambiental como la valorización y aprovechamiento de subproductos (Simitzis y Deligeorgis, 2018), incluido el uso de semillas y subproductos agroindustriales (AI) como parte de raciones alimenticias para animales de interés zootécnico (Simitzis y Deligeorgis, 2018).

Dentro de estos, se puede destacar los estudios con semilla como sacha inchi (*Plukenetia volubilis*), chía (*Salvia hispanica*) e higuierilla (*Ricinus communis*)

para alimentación de pollos y cabras (Belda-Galbis *et al.*, 2013; Hurtado-Ramírez *et al.*, 2014); subproductos de arroz (*Oryza sativa*) como ñelén, polvillo y cascarilla en gallinas y cuyes (Rivera, 2014; Ruiz, 2007) y residuos AI como pulpa de café (*Coffea arabica*) y vaina de tara (*Caesalpinia spinosa*) en cuyes, conejos, tilapia, gallinas, cerdos y ruminantes (Corella *et al.*, 2002; Murthy y Naidu, 2012; Yoplac *et al.*, 2017), entre otros.

Los insumos agrícolas, como semillas y residuos AI pueden utilizarse eficientemente en la alimentación de animales domésticos, dependiendo de sus características nutricionales, digestibilidad y aceptabilidad (Dihigo *et al.*, 2008; Mirzaei-Aghsaghali y Maheri-Sis, 2008). Entre estas semillas se encuentra sacha inchi, higuierilla y chía, que presentan alto contenido de ácidos grasos esenciales como ácido linolénico (ω -3) y linoleico (ω -6) y son fuentes importantes de proteínas y fibras, por lo que tienen un gran potencial en las industrias alimentarias y pecuarias (Vassilev *et al.*, 2010). Particularmente, el principal componente de la semilla de sacha inchi en base seca son los aceites con 42%, y de estos, alrededor del 51% es linolénico y 34% linoleico, además de contener 25% de proteínas (Gutiérrez *et al.*, 2011). Por su lado, la semilla de chía es una fuente de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA), proteína (25.3 g/100 g), fibra dietética total (37.50 g/100 g) y compuestos polifenólicos (miricetina, quercetina, kaempferol y ácido clorogénico) (Marineli *et al.*, 2014). La higuierilla, llamada también ricino, contiene altos valores de fibra y aceite, donde el aceite es rico en ácido ricinoleico ($C_{18}H_{34}O_3$), que le confiere propiedades reológicas, emulgentes y lubricantes (Perdomo *et al.*, 2013).

Otros residuos de importancia son obtenidos del arroz (ñelén, polvillo y cascarilla) (Ahumada y Rodríguez-Páez, 2006). La parte aprovechable del arroz es el endospermo, que representa el 70% del volumen del grano y el 30% restante está conformado por residuos AI. El polvillo está constituido por la

cutícula, embrión y otras partes del grano después del proceso de blanqueado del arroz, que alcanza un 6.8% del volumen del grano. La cascarilla o pajilla constituye aproximadamente el 20% en peso del grano; en tanto que el ñelén, conformado por granos quebrados menores de $\frac{1}{4}$ de la longitud del grano, llega a más del 5% del volumen total del arroz procesado (Ahumada y Rodríguez-Páez, 2006). La cascarilla destaca por su alto contenido de fibra cruda (35-46%), el ñelén y polvillo representan 13% de proteína y entre 12 a 13% de fibra cruda (Rodríguez, 2007).

Dentro de los residuos de plantas y frutas tropicales se encuentra el bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), principal residuo de la industria azucarera. Este residuo presenta un alto contenido de fibra detergente neutra – FDN (60%) y energía (16.16 MJ/kg de MS) (Dihigo *et al.*, 2008), así como 50% de celulosa, 25% de hemicelulosa y 25% de lignina (Pandey *et al.*, 2000). En el caso del café y cacao (*Theobroma cacao*) solo se aprovecha el grano, que representa alrededor del 10% del peso del fruto fresco, siendo residuos el 90% restante (Abarca *et al.*, 2010; Saval, 2012). El casco externo del cacao, mucilago (pulpa) del cacao y pulpa de café son buenas fuentes de fibra en la dieta (soluble e insoluble) con valores de 62, 21 y 25%, respectivamente (Saval, 2012). Por su lado, la pulpa de café es rica en carbohidratos, proteínas, pectinas, compuestos bioactivos como polifenoles y es un recurso renovable barato (Murthy y Naidu, 2012). Las vainas de tara (sin semillas) representa cerca del 65% (p/p) de la fruta, las cuales son ricas en taninos hidrolizables (40-60% p/p), siendo el ácido gálico el principal constituyente (Chambi *et al.*, 2013; Aguilar-Galvez *et al.*, 2014). En cítricos como la naranja (*Citrus sinensis*), la pulpa, después de extraído su jugo, representa un aproximado del 40% (p/p), con alto contenido en fibras totales (47%) y energía (9.80 MJ/kg de MS) que puede sustituir a los cereales (Dihigo *et al.*, 2008).

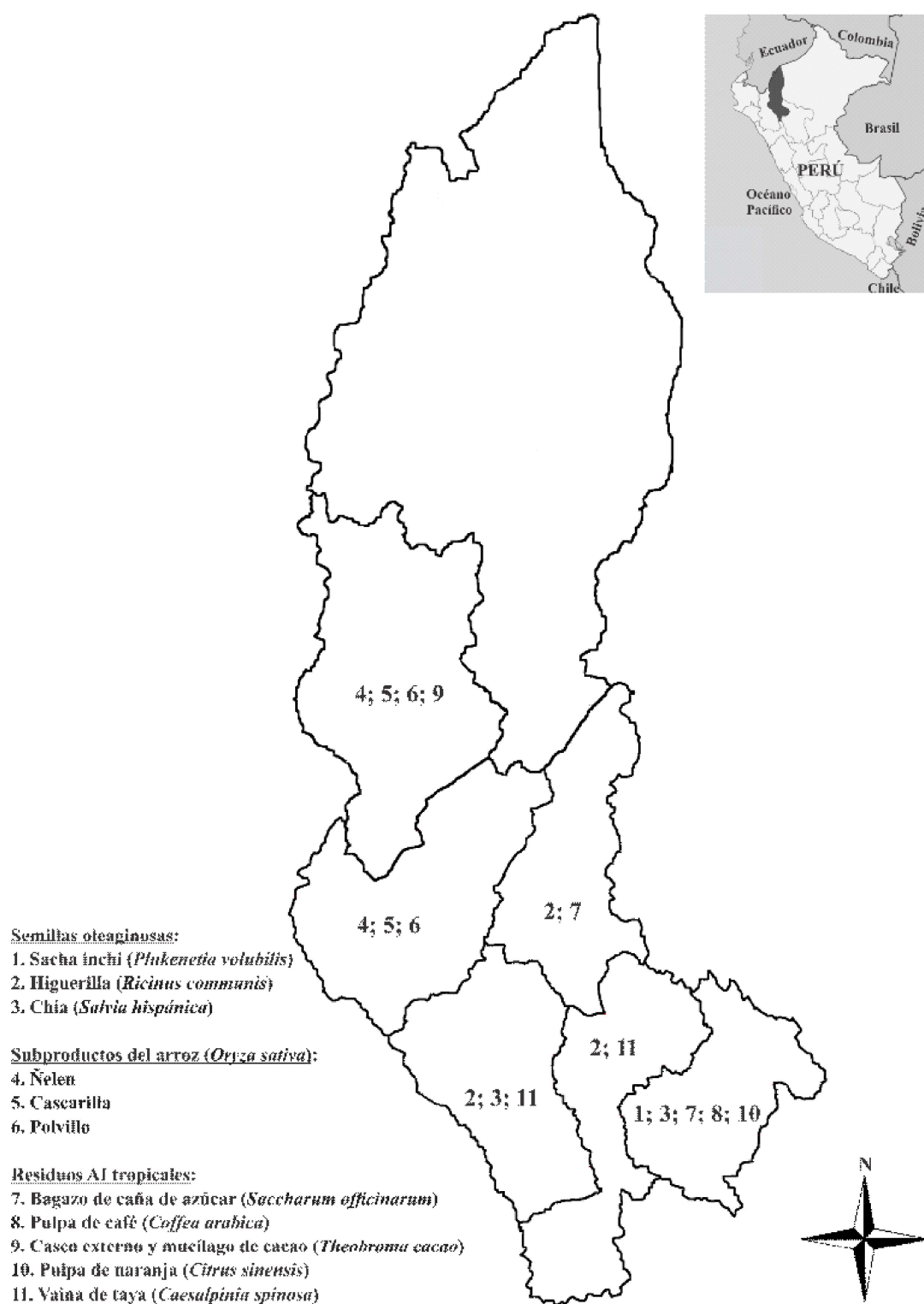


Figura 1. Distribución de la toma de muestras por provincia (Amazonas, Perú)

No obstante, los estudios de caracterización de semillas y subproductos en Perú son escasos, más aún en la región Amazonas. Por tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar las características químicas y digestibilidad *in vitro* de semillas y subproductos agroindustriales obtenidos en la región Amazonas, con potencial de uso en la alimentación animal de interés zootécnico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestras

Se utilizaron 11 materias primas, entre semillas oleaginosas (3), subproductos de la industrialización del arroz (3) y residuos agroindustriales tropicales (5) producidos en la región Amazonas, Perú (Figura 1). En cada lugar de muestreo se colectaron tres muestras de 1 kg por materia prima. Las muestras fueron envasadas en bolsas de polietileno, rotulados y trasladados al Laboratorio de Nutrición Animal y Bromatología de Alimentos de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza (UNTRM), Chachapoyas, Perú.

Las muestras fueron secadas a 65 °C por 12 horas, para reducir su humedad por debajo de 13%, excepto los subproductos de arroz. Los materiales deshidratados se envasaron y almacenaron a temperatura ambiente (± 23 °C) y 60% de humedad relativa, hasta el momento de sus análisis. Los análisis se realizaron por triplicado.

Caracterización Química

Se evaluaron los componentes químicos de las muestras secas de acuerdo con el método AOAC (AOAC, 1997). La humedad (Hd) se determinó por el método convencional de secado en estufa (N.º 925.10); las cenizas (Cz) mediante el método de incineración en mufla (N.º 923.03), las grasas como extracto etéreo (EE) por el método soxhlet (N.º 920.39), la proteína cruda (PC) por el

método Kjeldahl (N.º 920.87), la fibra cruda (FC) por método enzimático (N.º 962.09), y los hidratos de carbono como Extracto Libre de Nitrógeno (ELN) se obtuvieron por diferencia porcentual de los demás componentes. Así mismo, siguiendo los métodos oficiales de la AOAC N.º 927.02 y N.º 965.17 (AOAC, 1997) se determinó el contenido de calcio (Ca) y fósforo (P), respectivamente. Por último, la fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA) se analizaron mediante el método gravimétrico de Van Soest y Wine (Van Soest y Wine, 1967).

Energía Bruta y Digestibilidad *in vitro*

La energía bruta (EB) se determinó por combustión en bomba calorimétrica adiabática (Parr 6200 Calorimeter, USA), mediante la metodología propuesta por Terry y Osbourn (1980). La digestibilidad aparente *in vitro* se determinó en una incubador Daisy^{II}® (ANKOM Technology, D2001, USA), a través del protocolo recomendado por el fabricante y la metodología propuesta por Giraldo *et al.* (2007).

Análisis Estadístico

Todas las determinaciones se realizaron por triplicado. Los resultados se analizaron con el programa Statgraphics 15.2 (StatPoint Inc., USA, 2015), determinándose el promedio y la desviación estándar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de las características químicas y digestibilidad *in vitro* de las semillas y subproductos se presentan en tres grupos: (1) semillas oleaginosas (sacha inchi, higuera y chía), (2) subproductos derivados del arroz (nielen, cascarilla y polvillo) y (3) residuos AI de plantas y frutas tropicales (bagazo de caña de azúcar, pulpa de café, casco externo y mucílago de cacao (*Theobroma cacao*), pulpa de naranja (*Citrus sinensis*) y vaina de taya (*Caesalpinia spinosa*)).

Cuadro 1. Caracterización química y digestibilidad *in vitro* de las muestras¹ de semillas oleaginosas en base seca (promedio \pm desviación estándar)

Componentes en base seca	Sacha inchi	Higuerilla	Chía
Humedad (%)	2.62 \pm 0.06	4.46 \pm 1.22	4.76 \pm 0.46
Cenizas (%)	3.17 \pm 0.34	3.67 \pm 0.64	4.09 \pm 1.17
Extracto etéreo (%)	39.20 \pm 7.24	34.55 \pm 4.21	37.34 \pm 1.09
Proteína cruda (%)	28.75 \pm 0.29	18.96 \pm 0.56	19.94 \pm 1.33
Extracto libre de nitrógeno (%)	17.27 \pm 6.75	5.57 \pm 5.27	13.67 \pm 2.11
Fibra cruda (%)	8.99 \pm 0.48	32.78 \pm 9.61	20.20 \pm 0.73
Fibra detergente ácida (%)	44.94 \pm 3.66	37.05 \pm 6.44	58.82 \pm 24.14
Fibra detergente neutra (%)	64.34 \pm 2.07	48.03 \pm 5.08	73.21 \pm 10.55
Calcio (%)	0.21 \pm 0.07	0.35 \pm 0.21	0.52 \pm 0.04
Fósforo (%)	0.50 \pm 0.03	0.52 \pm 0.02	0.51 \pm 0.02
Digestibilidad (%)	55.34 \pm 7.75	63.22 \pm 10.75	21.79 \pm 2.98
Energía bruta (cal/g)	7103.33 \pm 15.28	6836.67 \pm 181.48	6103.33 \pm 231.80

¹ Los análisis se hicieron por triplicado

Semillas Oleaginosas

El Cuadro 1 muestra los resultados del análisis químico y digestibilidad *in vitro* de las semillas oleaginosas en base seca. Las semillas (sacha inchi, higuerilla y chía) presentaron mayor contenido de extracto etéreo con relación a las demás macromoléculas evaluadas, siendo mayor en sachá inchi (39.20%), seguido por la chía (37.34%) y la higuerilla (34.55%). El segundo componente de mayor presencia en la higuerilla y la chía fue la fibra cruda (32.78 y 20.20%, respectivamente) y en el caso del sachá inchi la proteína (28.75%). De todas las macromoléculas evaluadas, el contenido de Cz fue el menor, con valores inferiores al 5%, resultado similar al reportados por Marineli *et al.* (2014).

En general, el contenido de Cz de las tres semillas fue inferior al encontrado por de Castro *et al.* (2016) para semillas de canola (*Brassica napus*), higuerilla y girasol (*Helianthus annuus*) que variaron entre 5 y 6%; sin embargo, Ramachandran *et al.* (2007) indican que el contenido de cenizas de aceites en tortas de semillas puede variar entre 3.2 y 11.8%.

El EE del sachá inchi del presente estudio estuvo dentro del intervalo reportado por Guillén *et al.* (2003), quienes obtuvieron entre 35 y 60%, pero inferior a los niveles reportados por Follegatti-Romero *et al.* (2009) y Gutiérrez *et al.* (2011); diferencias que podrían atribuirse a las subespecies, condiciones geográficas y climáticas, tiempo de co-

Cuadro 2. Caracterización química y digestibilidad *in vitro* de las muestras¹ de subproductos del arroz en base seca (promedio \pm desviación estándar)

Componentes en base seca	Ñelén	Cascarilla	Polvillo
Humedad (%)	10.21 \pm 2.26	6.46 \pm 0.39	9.93 \pm 0.37
Cenizas (%)	4.04 \pm 4.26	15.06 \pm 0.52	9.08 \pm 0.71
Extracto etéreo (%)	2.72 \pm 1.15	0.51 \pm 0.29	18.95 \pm 0.85
Proteína cruda (%)	11.71 \pm 2.86	2.39 \pm 0.09	13.16 \pm 1.04
Extracto libre de nitrógeno (%)	62.23 \pm 21.19	31.84 \pm 0.50	41.92 \pm 1.00
Fibra cruda (%)	9.09 \pm 15.20	43.74 \pm 0.53	6.96 \pm 0.55
Fibra detergente ácida (%)	12.11 \pm 18.13	66.14 \pm 1.70	16.59 \pm 0.33
Fibra detergente neutra (%)	19.14 \pm 28.81	76.17 \pm 2.02	19.62 \pm 1.11
Calcio (%)	0.20 \pm 0.27	0.05 \pm 0.01	0.04 \pm 0.02
Fósforo (%)	0.34 \pm 0.21	0.03 \pm 0.00	1.77 \pm 0.17
Digestibilidad (%)	92.24 \pm 4.34	17.49 \pm 2.26	81.75 \pm 1.60
Energía bruta (cal/g)	3926.67 \pm 30.55	3923.33 \pm 321.46	4783.33 \pm 57.74

¹ Los análisis se hicieron por triplicado

secha y métodos de extracción (Yang y Kallio, 2002). El contenido de EE de sachá inchi podría ser comparable con otras semillas como linaza (41%), cártamo – *Carthamus tinctorius* (30-40%), canola (38-44%) y almendra de marañón – *Anacardium occidentale* (41%) (Ramachandran *et al.*, 2007; Lafont *et al.*, 2011). El EE de la chía fue superior al 30% reportado por Marineli *et al.* (2014) y el de la higuierilla estuvo en rango obtenido por Perdomo *et al.* (2013). En general, los valores de EE de las semillas evaluadas del presente estudio fueron superiores a semillas como jatropa o piñón (*Jatropha curcas*), moringa (*Moringa oleifera*), trisperma (*Aleurites trisperma*), higuierilla, nim (*Azadirachta indica*) y nuez de la India (*Aleurites moluccana*) (11-24%)

(Martín *et al.*, 2010), evidenciándose como buenas fuentes de aceites, componente importante en la formulación de raciones alimenticias para animales.

En cuanto a PC, sachá inchi mostró un contenido (28.75%) similar a lo reportado por Gutiérrez *et al.* (2011), en tanto que la higuierilla y chía presentaron contenidos más bajos. Estos resultados fueron inferiores al contenido proteico reportado por de Castro *et al.* (2016) para canola y ricino (34.85 y 43.54%, respectivamente), aunque el valor del sachá inchi fue ligeramente superior al del girasol (23.72%). La PC de chía fue similar a los encontrados en otros países de América del Sur (Marineli *et al.*, 2014). En general, las semillas evaluadas mostraron

Cuadro 3. Caracterización química y digestibilidad *in vitro* de las muestras¹ de residuos de plantas y frutas tropicales en base seca (promedio \pm desviación estándar)

Componentes en base seca	Bagazo de caña azúcar	Pulpa de café	Casco externo y mucílago de cacao	Pulpa de naranja	Vaina de taya
Humedad (%)	7.63 \pm 0.86	12.82 \pm 0.98	7.44 \pm 0.38	11.39 \pm 1.69	6.37 \pm 2.27
Cenizas (%)	2.14 \pm 0.20	5.83 \pm 0.76	9.17 \pm 1.61	5.56 \pm 1.77	13.99 \pm 2.62
Extracto etéreo (%)	0.40 \pm 0.12	1.59 \pm 0.17	1.14 \pm 0.07	0.97 \pm 0.28	0.55 \pm 0.10
Proteína cruda (%)	1.67 \pm 0.16	9.66 \pm 1.33	5.44 \pm 0.76	6.33 \pm 0.56	4.13 \pm 0.78
Extracto libre nitrógeno (%)	58.90 \pm 3.95	58.93 \pm 2.82	51.15 \pm 2.82	68.21 \pm 0.72	68.98 \pm 1.88
Fibra cruda (%)	29.26 \pm 2.96	11.17 \pm 2.05	25.66 \pm 2.12	7.55 \pm 0.84	5.97 \pm 0.39
Fibra detergente ácida (%)	40.68 \pm 3.45	23.10 \pm 5.42	43.32 \pm 4.97	17.32 \pm 4.09	7.66 \pm 0.82
Fibra detergente neutra (%)	56.63 \pm 5.15	26.31 \pm 6.26	51.13 \pm 3.71	15.87 \pm 1.54	12.67 \pm 0.65
Calcio (%)	0.32 \pm 0.15	0.35 \pm 0.23	0.52 \pm 0.09	0.76 \pm 0.10	0.51 \pm 0.09
Fósforo (%)	0.06 \pm 0.01	0.15 \pm 0.04	0.15 \pm 0.05	0.30 \pm 0.15	0.46 \pm 0.08
Digestibilidad (%)	46.95 \pm 5.19	83.03 \pm 5.27	50.94 \pm 3.42	95.23 \pm 2.05	92.61 \pm 0.83
Energía bruta (cal/g)	4120 \pm 70	4093 \pm 72	4260 \pm 53	3983 \pm 70	4193 \pm 155

¹ Los análisis se hicieron por triplicado

contenidos de PC superiores al 15%, valores superiores respecto a otros cultivos tradicionales como cebada, trigo, maíz, arroz y avena (López *et al.*, 2007; Vassilev *et al.*, 2010), razón por la cual podrían utilizarse como insumo para la formulación de raciones alimenticias para animales de interés zootécnico (Chacon *et al.*, 2007).

El ELN fue similar al de canola, higuerrilla y girasol (entre 13 y 22%), aunque los valores de FDN y FDA fueron inferiores a

los reportados por de Castro *et al.* (2016). El valor de FC de la chía fue inferior al 37.5% encontrado por Marineli *et al.* (2014). Los contenidos de Ca y P del sachá inchi fueron similares a los reportados por Gutiérrez *et al.* (2011), quienes obtuvieron valores de 0.24 y 0.55%, respectivamente. Asimismo, los valores de Ca fueron similares a los obtenidos por Ramachandran *et al.* (2007) para semillas de cártamo (0.22%). Respecto al contenido de Hd, todas las semillas estuvieron dentro del intervalo recomendados (0-13%) para

un adecuado almacenamiento sin alteración de sus triacilglicéridos y componentes nutricionales (Gutiérrez *et al.*, 2011).

La digestibilidad (55.34 y 63.22%) y EB (7103.33 y 6836.67 cal/g) de sachá inchi e higuerilla, respectivamente, fueron superiores a los valores de la chíá (21.79 y 6103 cal/g, respectivamente). No obstante, estos valores fueron superiores a 5765 cal/g de EB reportado por Marineli *et al.* (2014).

En general, las semillas evaluadas presentaron contenidos superiores al 35% de EE, al 19% de PC, al 10% de FC, al 22% de digestibilidad, a 6100 cal/g de EB y buenas fuentes de minerales como Ca y P, comparados con otros insumos tradicionales empleados en alimentación animal como granos andinos, cereales, forrajes, leguminosas y otras (Martínez, 2013; Fernández, 2014; Pérez-Chabela y Hernández-Alcántara, 2018). Estas semillas resultan una buena alternativa de bajo costo, disponible y adecuadas características nutricionales, que podrían reemplazar en parte a insumos tradicionales para la formulación de alimentos destinados a pollos de postura, pollos de engorde, rumiantes, cerdos, cuyes, conejos y otros animales domésticos (Hurtado-Ramírez *et al.*, 2014; Jiménez *et al.*, 2014; Oliveira y Machado, 2011).

Subproductos del Arroz

El Cuadro 2 muestra los resultados de los subproductos del arroz en base seca. El ñelén y polvillo presentaron mayor contenido de ELN (62.23 y 41.92%, respectivamente); sin embargo, la cascarilla presentó mayor contenido de FC (43.74%). En general, los resultados obtenidos, estuvieron dentro de los intervalos obtenidos por Juliano (1994), Ahumada y Rodríguez-Páez (2006) y Rodríguez, (2007).

El contenido de PC del ñelén y polvillo fue superior al reportado por Reque (2007), Gayo (2013) y Rivera (2014). Por el contrario, como era previsible, la cascarilla mostró mayores valores de Cz, FC, FDA y FDN

coherentes con los estudios de Juliano (1994) y Rodríguez (2007). En cuanto al EE, el polvillo mostró los mayores valores, dado que está constituido principalmente por el embrión y la cutícula del grano, partes que contienen la mayor fracción lipídica del grano de arroz (López *et al.*, 2007).

El polvillo presentó mayor cantidad de P y EB, con 1.77% y 4783.33 cal/g, respectivamente, en tanto que el ñelén y la cascarilla presentaron bajos contenidos de P (entre 0.03 y 0.34%) y bajos valores de EB (entre 3923 y 3926 cal/g); no obstante, los valores de P, Ca y EB de la cascarilla de arroz fueron superiores a los reportados por Juliano (1994). De otra parte, el contenido de Hd estuvo dentro de los rangos recomendados para un adecuado manejo en almacenamiento de cereales (menos del 13%) (López *et al.*, 2007).

Respecto a la digestibilidad, el ñelén es más digestible, seguido del polvillo y la cascarilla. El mayor constituyente de la cascarilla es la fibra, que es considerada como carbohidrato de baja o nula digestibilidad (Mohan *et al.*, 2018).

El ñelén de arroz mostró mejores resultados en su contenido PC, EE y FC a los reportados por Reque (2007), Gayo (2013) y Rivera (2014). El contenido PC, FC, P, EE y EB del polvillo de arroz fue superior a los reportados por Hertrampf y Piedad-Pascual (2000b), Cuadrado (2008) y Ruiz (2007). Sin embargo, el contenido de Cz, Ca y ELN fue similar a los encontrados por estos mismos autores. De otra parte, la digestibilidad, PC, FDN, FDA, FC y Cz fue similar a lo observado por Fernández (2014). Asimismo, las características nutricionales de la cascarilla de arroz presentaron valores similares a los reportados por Ahumada y Rodríguez-Páez (2006) y Vassilev *et al.* (2010).

Los subproductos de la industria del arroz presentaron características resaltantes y destacan, en conjunto, por ser buenas fuentes de ELN y, por ende, de energía con valores superior al 32% y 3923 cal/g, respectivamente. El ñelén y el polvillo presentaron altos

contenidos proteicos superior al 12% y con alta digestibilidad superior al 82%. Por su lado, el ñelén es una fuente importante de Ca y el polvillo de P. Como era predecible, la cascarrilla destacó por su alto contenido de FC, FDA y FDN. Además de estas propiedades nutricionales, estos subproductos son de bajo costo, mayor disponibilidad y no estacionales. Estos son insumos locales que podrían reemplazar a los comerciales en la formulación de raciones alimenticias para cuyes, pollos, bovinos, cerdos, entre otros (Cuadrado, 2008; Gayo, 2013).

Residuos Agroindustriales (AI) de Plantas y Frutas Tropicales

Las muestras de todos los residuos AI mostraron alto contenido de ELN, que varió entre 51.15 y 68.98%. El Cuadro 3 muestra los resultados de la caracterización de los residuos de plantas y frutas tropicales evaluados.

Los resultados muestran que la pulpa de café y pulpa de naranja presentaron un mayor contenido de Hd con 12.82 y 11.39%, respectivamente, similares a los reportados por Abarca *et al.* (2010), en tanto que los residuos de taya y cacao obtuvieron valores inferiores (6.37 y 7.44%, respectivamente). Con relación al contenido de Cz, la vaina de tara presentó el mayor valor (14%) y el bagazo de caña el menor valor (2.14%); resultados inferiores a los reportados por Dihigo *et al.* (2008) para caña de azúcar (6.9%) y pulpa de cítricos (39.4%) así como para la pulpa de café (31%) reportado por Hertrampf y Piedad-Pascual, (2000a).

La pulpa de naranja y vaina de taya presentaron mayores contenidos de Ca y P (entre 0.30 y 0.76%), valores similares a la vaina de algarrobo de Anatolia (*Ceratonia siliqua*) (Ayaz *et al.*, 2007), en tanto que los residuos de caña de azúcar y café mostraron los menores valores.

Al evaluar el contenido de EE y PC, la pulpa de café presentó mejores resultados con 1.59 y 9.66%, respectivamente, composición similar a lo reportado por Abarca *et al.* (2010). Por el contrario, el bagazo de caña mostró los menores contenidos con 0.40 y 1.67%, respectivamente; resultados que se encuentran dentro de los rangos observados por Dihigo *et al.* (2008). El contenido de PC de la vaina de tara con 4.13% fue similar al valor de 4.45% para vaina de algarrobo de Anatolia reportado por Ayaz *et al.* (2007). El contenido PC de pulpa de naranja fue similar a los obtenidos por Dihigo *et al.* (2008). De otro lado, el contenido PC del bagazo de caña fue similar al obtenidos por Mohan *et al.* (2018); sin embargo, el contenido de PC de pulpa de café fue superior al reportado por Hertrampf y Piedad-Pascual (2000a), pero el EE fue similar a los obtenidos por estos autores.

El presente estudio mostró que los residuos AI de caña y cacao son fuentes adecuadas de FC, FDA y FDN, con valores superiores entre 25.66 y 56.63%, respecto a los demás insumos evaluados, resultados que podrían ser atribuidos al menor contenido de ELN, EE y PC. La vaina de taya mostró menor contenido de FC, FDA y FDN con valores entre 5.97 y 12.67%, resultados que coinciden con los reportados por Abarca *et al.* (2010). El contenido de estos componentes está directamente relacionado con el contenido de pectina; así la vaina de taya podría presentar niveles bajos de pectina con relación a los demás insumos (Dihigo *et al.*, 2008). Adicionalmente, los residuos de caña y cacao son una buena fuente de fibra, dado que están dentro de los rangos establecidos de 25 y 60 g/100 g de materia seca, para ser considerado como tal (Figuerola *et al.*, 2005). El contenido de FC de la pulpa de café fue similar a lo observado por Hertrampf y Piedad-Pascual (2000a).

La pulpa de naranja presentó una alta digestibilidad (95.23%) y los residuos de cacao y caña fueron menos digestibles con va-

lores inferiores al 51%. Los residuos AI presentaron similares resultados de EB (entre 4093 y 4260 cal/g), a excepción de la pulpa de naranja, que coincide con Dihigo *et al.* (2008), quienes indicaron que el contenido energético de la pulpa de cítricos fue inferior a la harina de caña de azúcar, morera (*Morus alba*) y alfalfa (*Medicago sativa*).

Los contenidos de EE, PC, FC, FDN, FDA y Cz de la pulpa de café fueron inferiores a los reportados por Yoplac *et al.* (2017), variaciones que podrían atribuirse a características genéticas, climatológicas, agronómicas, metodologías de análisis, entre otros (Vassilev *et al.*, 2010).

Todos los residuos presentaron un alto valor energético (superior a 3983 cal/g) y altos contenidos de FC, FDA y FDN. Adicionalmente a estas propiedades, se podrían resaltar otras consideraciones como las económicas (bajo precio), disponibilidad, nutricionales y toxicológicas, que podrían reemplazar en parte a cereales, forrajes y otros insumos tradicionales destinados a la formulación de dietas para la industria avícola (Solano *et al.*, 2005; Alzate-Tamayo *et al.*, 2011), cultivo de tilapia (Corella *et al.*, 2002; González-Salas *et al.*, 2014), cuyes (Yoplac *et al.*, 2017), bovino de carne y leche y porcinos, entre otros animales de interés zootécnico (Chacon *et al.*, 2007; Mirzaei-Aghsaghali y Maheri-Sis, 2008; Simitzis y Deligeorgis, 2018). Además, estos insumos tienen características funcionales particulares, por ejemplo, la inclusión de la pulpa de cítricos en la dieta de rumiantes contribuye en la fermentación de alimentos ricos en fibra en el rumen (Arbabi *et al.*, 2008).

CONCLUSIONES

- Las semillas de sachá inchi, higuierilla y chíá fueron buenas fuentes de aceites, EB y minerales como Ca y P; y presentaron contenido de Hd recomendado para su almacenamiento. El sachá inchi presentó alto contenido proteico y ELN. La

higuierilla es una buena fuente de FC y la sachá inchi e higuierilla fueron más digestibles.

- Los subproductos del arroz mostraron alto contenido de ELN. El polvillo presentó alto contenido de EE y P. El ñelén y polvillo presentaron el mayor contenido proteico. La cascarilla mostró mayor contenido de FC, FDA y FDN. Además, tanto el ñelén como el polvillo fueron los más digestibles.
- Los residuos agroindustriales de plantas y frutas tropicales presentaron alto contenido de ELN. La pulpa de café mostró el mayor contenido proteico y EE. La pulpa de naranja y vaina de taya fueron buenas fuentes de ELN y P, con el mayor valor de digestibilidad. Las mejores fuentes de Ca fueron los residuos de cacao, naranja y taya. Las mejores fuentes de FC, FDA y FDN fueron el bagazo de caña de azúcar, así como, el casco externo y mucílago de cacao.
- Los recursos de alimentación alternativos no convencionales, como los evaluados en este estudio, destacan además, por su bajo costo y, en el caso de subproductos, su uso minimiza los efectos ambientales. Por estas razones, pueden ser usados como materia prima en el desarrollo de raciones alimenticias para diferentes especies animales.

Agradecimientos

Los autores agradecen al proyecto 189-2105-FONDECYT-DE «Caracterización bromatológica de insumos no tradicionales para alimentación animal de la región Amazonas», por financiar la ejecución de presente estudio.

LITERATURA CITADA

1. **Abarca D, Martínez R, Muñoz JJ, Torres MP, Vargas G 2010.** Residuos de café, cacao y cladodio de tuna: fuentes promisorias de fibra dietaria. *Rev Tecnol ESPOL* 23: 63-69.

2. **Aguilar-Galvez A, Noratto G, Chambi F, Debaste F, Campos D. 2014.** Potential of tara (*Caesalpinia spinosa*) gallotannins and hydrolysates as natural antibacterial compounds. *Food Chem* 156: 301-304. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.01.110
3. **Ahumada LM, Rodríguez-Páez JE. 2006.** Uso del SiO₂ obtenido de la cascarrilla de arroz en la síntesis de silicatos de calcio. *Rev Acad Colomb Cienc* 30: 581-594.
4. **Alzate-Tamayo LM, Jimenez-Cartagena C, Londoño-Londoño J. 2011.** Aprovechamiento de residuos agroindustriales para mejorar la calidad sensorial y nutricional de productos avícolas. *Producción Más Limpia* 6: 108-127.
5. **AOAC. 1997.** Official methods of analysis of AOAC international. 16th ed. Association of Analytical Chemists. USA.
6. **Arbabi S, Ghoorchi T, Naserian AA. 2008.** The effect of dried citrus pulp, dried beet sugar pulp and wheat straw as silage additives on by-products of orange silage. *Asian Austral J Anim* 2: 35-42. doi: 10.3923/ajas.2008.35.42
7. **Ayaz FA, Torun H, Ayaz S, Correia P J, Alaiz M, Sanz C, Grúz J, Strnad M. 2007.** Determination of chemical composition of anatolian carob pod (*Ceratonia siliqua* L): sugars, amino and organic acids, minerals and phenolic compounds. *J Food Quality* 30: 1040-1055. doi: 10.1111/j.1745-4557.2007.00176.x
8. **Belda-Galbis CM, Pina-Pérez MC, Leufvén A, Martínez A, Rodrigo D. 2013.** Impact assessment of carvacrol and citral effect on *Escherichia coli* K12 and *Listeria innocua* growth. *Food Control* 33: 536-544. doi: 10.1016/j.foodcont.2013.03.038
9. **Chacon E, Torres R, Baldizán A. 2007.** Los recursos agroalimentarios para la producción de carne y leche en los llanos venezolanos. En: Simposio Tecnologías Apropriadas para la Ganadería de los Llanos de Venezuela. Venezuela: INIA.
10. **Chambi F, Chirinos R, Pedreschi R, Betalleluz-Pallardel I, Debaste F, Campos D. 2013.** Antioxidant potential of hydrolyzed polyphenolic extracts from tara (*Caesalpinia spinosa*) pods. *Ind Crop Prod* 47: 168-175. doi: 10.1016/j.indcrop.2013.03.009
11. **Corella EC, Acosta YA, Santos NNB, Mc Cook ELC, Gómez AMM, Tellez VC, Cerdá MJ. 2002.** Utilización de la pulpa de café en la alimentación de alevines de tilapia roja. *AquaTIC* 16: 1-7.
12. **Cuadrado LI. 2008.** Valoración energética de polvillo de arroz y afrecho de trigo utilizado en la alimentación de cuyes (*Cavia porcellus*). Tesis de Ingeniero Zootecnista. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 78 p.
13. **de Castro AM, Castilho L, Dos R, Freire DMG. 2016.** Characterization of babassu, canola, castor seed and sunflower residual cakes for use as raw materials for fermentation processes. *Ind Crop Prod* 83: 140-148. doi: 10.1016/j.indcrop.2015.12.050
14. **Dihigo LE, Savón L, Hernández Y, Domínguez M, Martínez M. 2008.** Caracterización físico-química de las harinas de morera (*Morus alba*), pulpa de cítrico (*Citrus sinensis*) y harina de caña (*Saccharum officinarum*) para la alimentación de los conejos. *Cuban J Agr Sci* 42: 65-69.
15. **Fernández A. 2014.** Transformación de subproductos y residuos de agroindustria de cultivos templados, subtropicales y tropicales en carne y leche bovina. Argentina: INTA Boletín Técnico 20. 195 p.
16. **Figuerola F, Hurtado ML, Estévez AM, Chiffelle I, Asenjo F. 2005.** Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. *Food Chem* 91: 395-401. doi: 10.1016/j.foodchem.2004.04.036

17. **Follegatti-Romero LA, Piantino CR, Grimaldi R, Cabral FA. 2009.** Supercritical CO₂ extraction of omega-3 rich oil from Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds. *J Supercrit Fluid* 49: 323-329. doi: 10.1016/j.supflu.2009.03.010
18. **Gayo J. 2013.** Los subproductos del arroz en la alimentación del ganado [Internet]. Disponible en: https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R123/R123_30.pdf
19. **Giraldo LA, Gutiérrez LA, Rúa C. 2007.** Comparación de dos técnicas *in vitro* e *in situ* para estimar la digestibilidad verdadera en varios forrajes tropicales. *Rev Colomb Cienc Pec* 20: 269-279.
20. **González-Salas R, Romero-Cruz O, Valdivié-Navarro M, Ponce-Palafox JT. 2014.** Los productos y subproductos vegetales, animales y agroindustriales: una alternativa para la alimentación de la tilapia. *Rev Bio Ciencias* 2: 240-251.
21. **Guillén MD, Ruiz A, Cabo N, Chirinos R, Pascual G. 2003.** Characterization of sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L) oil by FTIR spectroscopy and ¹H NMR. Comparison with linseed oil. *J Am Oil Chem Soc* 80: 755-762.
22. **Gutiérrez LF, Rosada LM, Jiménez Á. 2011.** Chemical composition of sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds and. *Grasas Aceites* 62: 76-83.
23. **Hertrampf JW, Piedad-Pascual F. 2000a.** Coffee pulp (de-hydrated). In: Hertrampf JW, Piedad-Pascual F (eds). *Handbook on ingredients for aquaculture feeds*. Springer International Publishing. p 105-108.
24. **Hertrampf JW, Piedad-Pascual F. 2000b.** Rice by-products. In: Hertrampf JW, Piedad-Pascual F (eds). *Handbook on ingredients for aquaculture feeds*. Springer International Publishing. p 351-352.
25. **Hurtado-Ramírez LL, Paredes-López D, Robles-Huaynate R. 2014.** Efecto de la torta de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L) en el perfil bioquímico sanguíneo e histopatología del hígado de aves de postura. *Cienc amaz (Iquitos)* 4: 60-66.
26. **Jiménez R, Rosales R, Rodríguez JA, Camacho RM, Carrete FÓ. 2014.** Pasta proteica detoxificada de higuierilla en la alimentación animal. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, SAGARPA. 24 p.
27. **Juliano O. 1994.** El arroz en la nutrición humana. Roma, Italia: FAO. 190 p.
28. **Lafont JJ, Páez MS, Portacio AA. 2011.** Extracción y caracterización fisicoquímica del aceite de la semilla (Almendra) del marañón (*Anacardium occidentale* L). *Inf Tecnol* 22: 51-58.
29. **López P, Prieto F, Gaytán M, Gutiérrez R, Delia AD. 2007.** Caracterización fisicoquímica de diferentes variedades de cebada cultivadas en la Región Centro de México. *Rev Chil Nutr* 34: 1-12.
30. **Marineli R da S, Moraes ÉA, Lenquiste SA, Godoy AT, Eberlin MN, Maróstica MR. 2014.** Chemical characterization and antioxidant potential of Chilean chia seeds and oil (*Salvia hispanica* L.). *LWT - Lwt-Food Sci Technol* 59: 1304-1310. doi: 10.1016/j.lwt.2014.04.014
31. **Martín C, Moure A, Martín G, Carrillo E, Domínguez H, Parajó JC. 2010.** Fractional characterisation of jatropha, neem, moringa, trisperma, castor and candlenut seeds as potential feedstocks for biodiesel production in Cuba. *Biomass Bioenergy* 34: 533-538. doi: 10.1016/j.biombioe.2009.12.019
32. **Martínez GM. 2013.** Ensayo exploratorio: obtención de leche caprina funcional a partir de la suplementación con *Salvia hispanica* (chía). *Rev Invest Agropec* 39: 305-311.
33. **Mirzaei-Aghsaghali A, Maheri-Sis N. 2008.** Nutritive value of some agro-industrial by-products for ruminants - a review. *World J Zool* 3: 40-46.
34. **Mohan CC, Harini K, Aafrin BV, Priya UL, Jenita PM, Babuskin S, Karthikeyan S, et al. 2018.** Extraction

- and characterization of polysaccharides from tamarind seeds, rice mill residue, okra waste and sugarcane bagasse for its Bio-thermoplastic properties. *Carbohydr Polym* 186: 394-401. doi: 10.1016/j.carbpol.2018.01.057
35. **Murthy PS, Naidu MM. 2012.** Sustainable management of coffee industry by-products and value addition - a review. *Resour Conserv Recy* 66: 45-58. doi: 10.1016/j.resconrec.2012.06.005
 36. **Oliveira N, Machado OL. 2011.** Allergens and toxins from oleaginous plants: problems and solutions. In: Dos Santos MA (ed). *Environmental impact of biofuels*. INTECH. p 41-66.
 37. **Pandey A, Soccol CR, Nigam P, Soccol VT. 2000.** Biotechnological potential of agro-industrial residues. I: sugarcane bagasse. *Bioresource Technol* 74: 69-80. doi: 10.1016/S0960-8524(99)00142-X
 38. **Perdomo FA, Acosta-Osorio AA, Herrera G, Vasco-Leal JF, Mosquera-Artamonov JD, Millan-Malo B, et al. 2013.** Physicochemical characterization of seven Mexican *Ricinus communis* L seeds & oil contents. *Biomass Bioenergy* 48: 17-24. doi: 10.1016/j.biombioe.2012.10.020
 39. **Pérez-Chabela ML, Hernández-Alcántara AM. 2018.** Agroindustrial coproducts as sources of novel functional ingredients. In: Grumezescu AM, Holban AM (eds). *Food processing for increased quality and consumption*. Elsevier. p 219-250.
 40. **Ramachandran S, Singh SK, Larroche C, Soccol CR, Pandey A. 2007.** Oil cakes and their biotechnological applications - a review. *Bioresource Technol* 98: 2000-2009. doi: 10.1016/j.biortech.2006.08.002
 41. **Reque JD. 2007.** Estudio de prefactibilidad para la fabricación de harina de arroz y su utilización en panificación. Tesis de Ingeniero Industrial. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú. 109 p.
 42. **Rivera YI. 2014.** Estudio comparativo de arroz ñelén (*Oriza sativa*) en sustitución del maíz grano (*Zea mays*) sobre los índices productivos de gallinas (Hi line brown). Tesis de Médico Veterinario y Zootecnista Tacna, Perú: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. 75 p.
 43. **Rodríguez MB. 2007.** Determinación de la composición química y propiedades físicas y químicas del pulido de arroz (*Oryza sativa* L). Tesis de Licenciado en Ciencia de Alimentos. Valdivia, Chile: Univ. Austral de Chile. 44 p.
 44. **Ruiz JV. 2007.** Evaluación del polvillo de arroz en reemplazo del afrecho de trigo en etapa de crecimiento - engorde en cuyes (*Cavia porcellus* L, 1758). Tesis de Ingeniero Zootecnista. Tingo María, Perú: Univ. Nacional Agraria de la Selva. 72 p.
 45. **Saval S. 2012.** Aprovechamiento de residuos agroindustriales/ : pasado, presente y futuro. *BioTecnología* 16: 14-46.
 46. **Simitzis PE, Deligeorgis SG. 2018.** Agroindustrial by-products and animal products: a great alternative for improving food-quality characteristics and preserving human health. In: Holban AM, Grumezescu AM (eds). *Food quality: balancing health and disease*. Elsevier. p 253-290.
 47. **Solano GS, Cedeño MLS, Ramírez R. 2005.** Dietas para pollos en ceba a base de subproductos de la agro-industria local. *REDVET* 1(2). [Internet]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/636/63612654006.pdf>
 48. **Terry RA, Osbourn DF. 1980.** Determination and prediction of the digestible energy in silages. In: Thomas C (ed). *Forage conservation in the 80's*. British Grassland Society. p 315-318.
 49. **Van Soest PU, Wine RH. 1967.** Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. Determination of plant cell-wall constituents. *J Assoc Officials Anim Chem* 50: 51-55. doi: 10.1093/jaoac/50.1.50

50. **Vassilev SV, Baxter D, Andersen LK, Vassileva CG 2010.** An overview of the chemical composition of biomass. *Fuel* 89: 913-933. doi: 10.1016/j.fuel.2009.-10.022
51. **Yang B, Kallio H. 2002.** Effects of harvesting time on triacylglycerols and glycerophospholipids of sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L) berries of different origins. *J Food Compos Anal* 15: 143-157. doi: 10.1006/jfca.2001.1041
52. **Yoplac I, Yalta J, Vasquez HV, Maicelo JL. 2017.** Efecto de la alimentación con pulpa de café (*Coffea arabica*) en los índices productivos de cuyes (*Cavia porcellus*) Raza Peru. *Rev Inv Vet Perú* 28: 549-561. doi: 10.15381/rivep.v28i3.-13362