

Digestibilidad, energía digestible y metabolizable del sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L) peletizado y extruido en cuyes (*Cavia porcellus*)

Digestibility, digestible and metabolizable energy of Sachá Inchi (*Plukenetia volubilis* L) pelleted and extruded in guinea pigs (*Cavia porcellus*)

M. Díaz Céspedes^{1,4}, M.A. Rojas Paredes¹, J.E. Hernández Guevara¹,
J.L. Linares Rivera², L.M. Durand Chávez², J.E. Moscoso Muñoz³

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo evaluar la digestibilidad de los nutrientes y energía digestible y metabolizable de la semilla y torta de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L) precocida y procesada (peletizado y extruido) en cuyes. En cada ensayo se utilizaron 15 cuyes machos, de 3 meses edad y peso promedio de 700 g. El peletizado se realizó a 87 °C y la extrusión a 105 °C. La digestibilidad y metabolibilidad fue determinada utilizando el método de sustitución y colección total de excretas (heces y orina). Los valores de digestibilidad aparente (%) para materia seca, proteína bruta, fibra cruda y extracto etéreo para la semilla peletizada fueron de 54.4, 79.6, 27.0, 76.1 y semilla extruida de 48.7, 83.5, 16.2 y 81.7 respectivamente; mientras que para torta peletizada fueron de 82.5, 81.2, 98.7, 65.9 y torta extruida 76.7, 83.2, 92.8 y 62.4. La energía digestible en la semilla peletizada y extruida fue de 3296 y 3681 kcal/kg de materia seca, y en la torta peletizada y extruida fue de 4621 y 4161 kcal/kg de materia seca, respectivamente. La energía metabolizable en la

¹ Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Huánuco, Perú

² Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA, Estación Experimental Agraria El Porvenir, Tarapoto, Perú

³ Facultad de Ciencias Agrarias, Zootecnia, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú

⁴ E-mail: medardo.diaz@unas.edu.pe

Recibido: 8 de febrero de 2021

Aceptado para publicación: 4 de septiembre de 2021

Publicado: 27 de octubre 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

semilla peletizada y extruida fue de 2676 y 3243 kcal/kg de materia seca, y en la torta peletizada y extruida fue de 4346 y 4137 kcal/kg de materia seca, respectivamente. El tipo de procesamiento no afectó los valores energéticos en la semilla y torta de sachá inchi.

Palabras clave: composición nutricional, energía, coeficiente de digestibilidad

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the digestibility of nutrients and digestible and metabolizable energy of precooked and processed (pelletized and extruded) of seed and meal of sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L) in guinea pigs. In each trial, 15 male guinea pigs, 3 months old and average weight of 700 g, were used. Pelletizing was carried out at 87 °C and extrusion at 105 °C. The digestibility and metabolic tests were determined using the substitution method and total excreta collection (faeces and urine). The apparent digestibility values (%) for dry matter, crude protein, crude fibre and ethereal extract for the pelleted seed were 54.4, 79.6, 27.0, 76.1 and for extruded seed were 48.7, 83.5, 16.2 and 81.7 respectively; while for pelletized cake were 82.5, 81.2, 98.7 and 65.9 and for extruded cake were 76.7, 83.2, 92.8 and 62.4. The digestible energy in the pelletized and extruded seed were 3296 and 3681 kcal/kg of dry matter, and in the pelletized and extruded cake they were 4621 and 4161 kcal/kg of dry matter, respectively. The metabolizable energy in the pelletized and extruded seed was 2676 and 3243 kcal/kg of dry matter, and in the pelletized and extruded cake it was 4346 and 4137 kcal/kg of dry matter, respectively. The type of processing did not affect the energy values in the sachá inchi seed and cake.

Key words: coefficient of digestibility, energy, nutritional composition

INTRODUCCIÓN

El sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L) es un cultivo nativo de la selva tropical de Sudamérica con gran potencial económico y de industrialización (Wang *et al.*, 2018), especialmente por ser una planta considerada como fuente importante de aceites y proteína (Gutiérrez *et al.*, 2017, Benítez *et al.*, 2018, Romero *et al.*, 2019), comparables con la soya (*Glycine max*), maní (*Arachis hypogaea*) y girasol (*Helianthus annuus*) (Kodahl, 2020). El producto residual luego de la extracción del aceite de la semilla de sachá inchi genera una torta con alto valor nutritivo (proteína cruda: 56.6%, grasa total: 4.1% y carbohidratos: 30.7%, en base seca) y tiene un alto contenido de aminoácidos como lisina,

histidina, leucina, isoleucina, valina, triptófano y fenilalanina (Rawdkuen *et al.*, 2016), por lo que es importante su evaluación como insumo en la alimentación animal. Sin embargo, tanto la semilla como la torta presentan factores antinutricionales (compuestos fenólicos, taninos, inhibidores de tripsina, saponinas, alcaloides, lectinas y ácido fítico) que dificultan su uso en la alimentación animal (Alcívar *et al.*, 2020, Kodahl, 2020) al reducir el consumo y reducir la absorción de los nutrientes, lo que ocasiona disminución del crecimiento y pobre conversión alimenticia (Quintana, 2010). Estos efectos negativos pueden ser controlados cuando son procesados mediante hidratación o tratamiento térmico (tostado, cocción en autoclave) a altas temperaturas (70-100 °C) (Loor-Mendoza, 2016; Vílchez *et al.*, 2016; Kodahl, 2020).

El cuy (*Cavia porcellus*) es muy consumido en Bolivia, Perú, Ecuador y Colombia (Camino e Hidalgo, 2014; Sánchez-Macías *et al.*, 2018). Su carne es altamente digerible y nutritiva debido a su alto contenido de proteína, bajo contenido de grasa y colesterol (Mendoza *et al.*, 2019; de Figueiredo *et al.*, 2020). La crianza de cuy en el Perú ha suscitado un gran interés por ser una de las especies domésticas más promisorias, no solo por ser una fuente de proteína animal de alto valor biológico para el consumo, sino también por su gran potencial como fuente de ingreso económico para la población rural (Camino e Hidalgo, 2014; Tarrillo *et al.*, 2018). Además, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) considera a este roedor una importante fuente para la seguridad alimenticia, especialmente para las poblaciones de menores ingresos económicos (Guevara *et al.*, 2016).

El mayor costo en la producción de cuyes (70%) es debido al rubro de alimentación (Tarrillo *et al.*, 2018). El Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos (NRC) recomienda formular las dietas de cuyes (NRC, 1995) en base a la energía metabolizable (EM); sin embargo, actualmente se siguen formulando en base a energía digestible (ED). Los estudios en el país para establecer valores de energía digestible y metabolizable de ingredientes alimenticios en cuyes son limitados (Farro, 2012; Calcina 2015; Hidalgo y Valerio, 2020); en general; se conoce que los valores de energía, ED y EM de los ingredientes de las dietas varían dependiendo de su composición química, tipo de dieta, procesamiento, especie animal, genética, edad y nivel de alimentación, entre otros factores (Tancharoenrat *et al.*, 2013; Mateos *et al.*, 2018; Barzegar *et al.*, 2020; Moscoso-Muñoz *et al.*, 2020).

Las técnicas de tratamiento térmico (peletización y extrusión) son tecnologías versátiles y eficientes que utilizan un tratamiento físico de alta temperatura y de corta dura-

ción y tiene una amplia gama de aplicaciones en el procesamiento de granos (Gaopeng *et al.*, 2019). Estas técnicas permiten la conversión del almidón, desnaturalización de la proteína, oxidación de lípidos, incrementa la solubilidad del contenido de fibra dietaria, disminuye la activación enzimática y reduce la población microbiana (Drew *et al.*, 2007; Gaylord *et al.*, 2008; Glencross *et al.*, 2012), lo cual influye sobre la digestibilidad de los nutrientes y energía, principalmente de las proteínas y energía, puesto que evitan el bloqueo de la actividad enzimática en el intestino al producir el desdoblamiento de las cadenas proteicas vegetales, facilitando la acción enzimática (Vílchez *et al.*, 2016). Adicionalmente, la peletización al producir la gelatinización parcial del almidón, facilita la aglutinación de los ingredientes permitiendo su mayor uniformidad en la dieta (Honorato *et al.*, 2012).

Teniendo en cuenta lo anterior y considerando que el sachá inchi puede incluirse como un insumo con potencial de uso en la dieta de cuyes, el estudio tuvo como objetivo determinar los nutrientes digestibles (energía digestible y metabolizable) de la semilla y torta de sachá inchi precocido en dos formas de procesamiento (peletizado y extruido) en cuyes en condiciones de trópico húmedo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El experimento se llevó a cabo en la Unidad de Ensayos Metabólicos de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), Tingo María, Perú. La zona se encuentra a una altitud de 660 msnm y presenta una temperatura promedio anual de 24.5 °C, humedad relativa de 84% y precipitación pluvial anual media de 3194 mm. Está clasificada como bosque muy húmedo premontano tropical (bmh-PT).

Cuadro 1. Composición nutricional y energía de la semilla y torta de Sacha inchi después del tratamiento de cocción (como porcentaje de la materia seca)

Componentes	Semilla de sachá inchi	Torta de sachá inchi
Materia seca (MS), %	96.8	95.6
Proteína bruta (PB), %	40.6	65.6
Fibra cruda (FC), %	7.4	7.7
Extracto etéreo (EE), %	40.3	9.1
Energía bruta (EB), kcal/kg	6,376.6	4,824.9

Procedimiento Experimental

Animales

Se utilizaron 30 cuyes machos de la raza Perú, de tres meses de edad y peso vivo de 855 ± 64.6 g. Se utilizaron jaulas metabólicas individuales tipo cónicas, con área efectiva de 0.11 m^2 (26 cm de diámetro x 18 cm de altura), acondicionados con comederos individuales tipo tolva para forraje y alimento balanceado, bebedero metálico y sistema para la colección de heces y orina por separado. Los cuyes fueron atendidos de acuerdo con la Ley de Protección y Bienestar de los Animales del Perú, N° 30407.

Cocción de la semilla y torta de sachá inchi

El procesamiento térmico de cocción en agua se realizó de acuerdo con las recomendaciones de Quintana (2010). La semilla (previamente molida en un molino ciclónico con una criba de 1 mm) se coció a $95 \text{ }^\circ\text{C}/15$ min. La torta (subproducto que se obtiene al extraer el aceite de la semilla de sachá inchi) fue procesada a $95 \text{ }^\circ\text{C}/5$ min. Terminado la cocción, ambos insumos se secaron en una estufa de aire circulante a $60 \text{ }^\circ\text{C}/48$ h. La composición nutricional de los insumos en estudio se muestra en el Cuadro 1.

Características de la ración

La ración base fue una dieta balanceada para cuyes en la fase de acabado (Cuadro 2) cuya presentación física fue en forma de harina, a partir de la cual se hizo la sustitución porcentual peso/peso con el insumo en estudio (harina de semilla o harina de torta de sachá inchi). La ración base y las dietas experimentales fueron peletizadas y extruidas para cada experimento de manera independiente.

El peletizado de la ración base y dietas experimentales (mezcla de ración base + insumo en estudio) fueron realizados a una temperatura entre 80 a $83 \text{ }^\circ\text{C}$. La extrusión de la ración base y dietas experimentales (mezcla de ración base + insumo en estudio) fueron realizados a una temperatura entre 95 a $100 \text{ }^\circ\text{C}$. Las dietas fueron suplementadas con 200 mg de vitamina C protegida por cada kilogramo de alimento. La composición nutricional y energética de las diferentes dietas experimentales se muestra en el Cuadro 3.

Experimentos

Experimento I

Quince cuyes fueron distribuidos en tres grupos, cada uno de cinco cuyes. Al primer grupo se le suministró una ración base

Cuadro 2. Insumos y composición nutricional de la ración base, expresados en tal como ofrecido.

Insumos	%
Maíz grano amarillo molido	32.9
Sub producto de trigo	23.6
Torta de soya	19.1
Harina de alfalfa	15.0
Melaza de caña de azúcar	7.0
Carbonato de calcio	1.0
Fosfato bicálcico	0.3
Sal común	0.3
Premezcla mineral + vit.	0.5
HCl-Lisina	0.1
Metionina	0.2
Nutrientes	
Materia seca (MS), %	89.2
Proteína bruta (PB), %	18.1
Fibra cruda (FC), %	13.9
Extracto etéreo (EE), %	3.7
Energía bruta (EB, kcal/kg)	3,795.5

peletizada (RB), al segundo grupo una ración peletizada (RSP) que contenía 70% de RB en forma de harina y 30% de harina de semilla de sachá inchi precocido y al tercer grupo una ración extrusada (RSE) que contenía 70% RB en forma de harina y 30% de harina de semilla de sachá inchi precocido.

Experimento II

Quince cuyes fueron distribuidos en tres grupos, cada uno de cinco cuyes. Al primer grupo se le suministró una ración base extrusada (RB), al segundo grupo una ración peletizada (RTP) que contenía 60% de RB en forma de harina y 40% de harina de torta de sachá inchi precocido y al tercer grupo una ración extrusada (RTE) que contenía 60% RB en forma de harina y 40% de harina de torta de sachá inchi precocido.

Prueba Biológica

Los animales fueron adaptados al alimento y a las nuevas condiciones de manejo durante los primeros siete días de cada experimento. Para el pesaje del alimento, animales, heces y orina se utilizó una balanza con capacidad de 2000 g y 0.1 g de legibilidad (Ohaus SP2001 Scout Pro). El alimento y el agua fueron suministrados *ad libitum* dos veces por día a las 06:00 y 18:00 h. Los datos de la prueba biológica se muestran en la Cuadro 4.

En los siete días siguientes se evaluó:

- Peso inicial y final de los animales.
- Se registró diariamente la cantidad de alimento suministrado y rechazado.
- El consumo de alimento (expresado en materia seca - MS) se calculó por diferencia entre el alimento suministrado menos el alimento residual.
- Las excretas (heces y orina) fueron colectadas a intervalos de 24 horas. Las heces colectadas fueron limpiadas manualmente separando residuos alimenticios u otros objetos contaminantes, empleando una zaranda con tamaño de criba de 3 mm.
- La colección de la orina se hizo en vasos de precipitado graduados que contenían 20 ml de H₂SO₄ al 0.01% N. Se colocó una tela gaza en la boca de cada vaso como trampa de colección para evitar que la orina se mezcle con restos de heces, alimentos y pelos. Se midió el volumen y peso total. Se filtró y se tomó una muestra 10 ml que fueron vertidos sobre un papel filtro de celulosa libre de ceniza colocados de una placa petri y secados a 60 °C/ 48 horas en una estufa por convección natural (Sanz *et al.*, 2001).
- Las heces frescas fueron pesadas y secadas a 60 °C/48 h en una estufa por convección natural.

Digestibilidad Aparente

Para determinar la digestibilidad aparente (Da) de la ración base y de las raciones pruebas se utilizó el método directo (Crampton

Cuadro 3. Composición nutricional de las dietas experimentales luego procesamiento de peletizado y/o extrusión, expresados en tal como ofrecido

Componentes	Inclusión de Sacha inchi %				
	RB ¹	RSP ²	RSE ³	RTP ⁴	RTE ⁵
	100	70:30	70:30	60:40	60:40
Materia seca (MS), %	89.2	90.5	90.1	91.7	89.8
Proteína bruta (PB), %	18.1	28.6	26.5	36.3	35.3
Fibra cruda (FC), %	13.9	11.9	12.0	11.9	12.2
Extracto etéreo (EE), %	3.7	13.5	16.3	5.3	4.7
Energía bruta, kcal/kg	3,795.5	4,186.6	4,063.8	4,385.7	4,280.1

¹RB: Ración base; ²RSP: RB 70% y 30% Semilla de sachá inchi precocido, pellet (SP); ³RSE: RB 70% y 30% Semilla de sachá inchi precocido, extruido (SE); ⁴RTP: RB 60% y 40% Torta de sachá inchi precocido, pellet (TP); ⁵RTE: RB base 60% y 40% Torta de sachá inchi precocido, extruido (TE)

Cuadro 4. Peso vivo, consumo de alimento y producción de heces de los cuyes de acuerdo con las dietas en estudio (promedio ± desviación estándar)

Componente	Semilla de sachá inchi		p-valor	Torta de sachá inchi		p-valor
	Peletizado	Extruido		Peletizado	Extruido	
Peso vivo, g	865.3 ± 88.5	846.7 ± 41.7	0.55	838.4 ± 62.4	866.4 ± 35.8	0.41
Consumo, g MS/d	25.1 ± 5.2	27.0 ± 5.7	0.60	27.1 ± 4.6	32.0 ± 4.8	0.14
Heces, g MS/d	14.5 ± 1.5	12.9 ± 3.6	0.40	7.8 ± 2.2	8.0 ± 2.5	0.85

y Harris, 1974): $Da (\%) = [(NC (g) - NH (g))/(NC (g))] \times 100$, donde NC = Nutriente consumido, NH, Nutriente excretado en las heces.

La Da de la semilla o torta de sachá inchi precocido y en forma de pellets o extruido se determinó utilizando el método de sustitución y colecta total de heces (Crampton y Harris, 1974). Para lo cual, se tomó en cuenta la digestibilidad de la ración base (RB) y de las mezclas (RM): $Da (\%) = (100 (RM - RB))/S + RB$, donde Da = Digestibilidad aparente del sachá inchi (semilla o torta precocido

peletizado o extruido), RM = Digestibilidad aparente de las mezclas, RB = Digestibilidad aparente de la ración base, S = Nivel de sustitución (%) del sachá inchi en la ración mezcla (30% de semilla y 40% de torta de sachá inchi).

Energía Digestible Aparente y Metabolizable Aparente

La energía digestible aparente (EDa) se determinó a partir del contenido de energía bruta del alimento y de las heces, utilizando el procedimiento descrito por Crampton y

Harris (1974) expresados en base seca: EDa (kcal/kg) = $EB - (EH \times Qh)/Qa$, donde EDa = Energía digestible aparente, EB = Energía bruta del alimento (kcal/kg), EH = Energía bruta de las heces (kcal/kg), Qh = Cantidad de heces producidas por día (kg), Qa = Cantidad de alimento consumido por día (kg).

La energía metabolizable (EMa) de la dieta basal y de las dietas experimentales se determinó utilizando los valores de energía bruta del alimento, heces y orina, mediante el uso de la fórmula EMa (kcal/kg) = $ED - (EO \times Qo)$, donde: EMa = Energía metabolizable aparente del insumo problema (kcal/kg), ED = Energía digestible (kcal/kg), EO = Energía bruta en la orina (kcal/kg), y Qo = Cantidad de orina producida por día (kg).

Además, se determinó la metabolibilidad, utilizando la siguiente fórmula: $Metabolibilidad = EMa/EB$, donde EMa = Energía metabolizable aparente del insumo en estudio (kcal/kg), EB = Energía bruta del del insumo en estudio (kcal/kg).

Análisis Químico y Energía

El análisis químico de las raciones, insumos y excretas (heces y orina) se realizó de acuerdo con los métodos descritos por la AOAC (2007): Contenido de materia seca (MS) por desecación (AOAC 934.01), proteína cruda (PC) por el método semi microKjeldahl usando el factor $N \times 6.25$ (AOAC 990.03), extracto etéreo (AOAC 920.39) y fibra cruda (AOAC 978.10). La energía bruta del alimento, heces y orina se determinó en una bomba calorimétrica adiabática (Parr 6300).

Análisis Estadístico

Los resultados de digestibilidad, energía digestible y metabolizable fueron analizados mediante la prueba de media t-student para comparar si existe diferencia por efecto de la forma física de presentación (peletizado vs extruido), tanto en el experimento I como

en el II. Se verificó la normalidad de los residuos mediante la prueba de Shapiro-Wilks modificada y la homocedasticidad mediante la prueba F de igualdad de varianzas. Todos los datos fueron analizados utilizando el *Software* estadístico InfoStat v. 2018 (Di Rienzo *et al.*, 2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Digestibilidad Aparente

Los resultados de Digestibilidad aparente (Da) indican que no existe diferencia entre la presentación peletizado y extruido tanto en la semilla como la torta de sachá inchi precocido (Cuadro 5). La Da de la MS de la TP y TE fueron valores similares al 81.4% del residuo de quinua (Calcina, 2015), al 79.0% del gluten de maíz y al 81.5% del hominy Feed (Hidalgo y Valerio, 2020), mientras que los valores de Da de la MS de la SP y SE (54.4 y 48.7%) fueron inferiores a los valores reportados por estos mismos autores. La Da de la PB fue inferior a la digestibilidad *in vitro* de la PB de la harina de *Canavalia ensiformis* de 89.5% determinados por Zamora (2003). Sin embargo, las Da de la PB, FC y EE fueron superiores a los valores de Da reportados por Huarco (2012) para la semilla de achiote (*Bixa orellana*) despigmentada y seca.

La mayor digestibilidad de la MS de la torta de sachá inchi precocido podría deberse a su alto contenido de proteína (Alonso *et al.*, 2000; Zamora, 2003; Alcívar *et al.*, 2020) y por el tratamiento térmico al que fue sometido. Se sabe que los tratamientos térmicos, tales como cocción (Quintana, 2010), peletización húmeda (Loor-Mendoza, 2016; Gaopeng *et al.*, 2019) y extrusión (Murillo, 2020) permiten una mayor acción de las enzimas a las proteínas del ingrediente tratado, así como la inactivación de los factores anti-nutricionales de la proteína (Adeleke *et al.*, 2017), con lo que se evita el bloqueo de la

Cuadro 5. Digestibilidad aparente de la semilla y torta de sachá inchi (promedio \pm desviación estándar)

Digestibilidad aparente (Da, %)	Semilla de sachá inchi		p-valor	Torta de sachá inchi		p-valor
	Peletizado	Extruido		Peletizado	Extruido	
Materia seca	54.4 \pm 1.2	48.7 \pm 34.3	0.80	82.5 \pm 6.4	76.7 \pm 1.5	0.32
Proteína bruta	79.6 \pm 2.6	83.5 \pm 0.5	0.17	81.2 \pm 1.4	83.2 \pm 3.8	0.44
Fibra cruda	27.0 \pm 3.5	16.2 \pm 2.4	0.001	98.7 \pm 1.3	92.8 \pm 4.3	0.20
Extracto etéreo	76.1 \pm 7.5	81.7 \pm 7.2	0.26	65.9 \pm 4.8	62.4 \pm 5.4	0.44

Cuadro 6. Energía digestible y metabolizable aparente de la semilla y torta de sachá inchi (promedio \pm desviación estándar)

	Semilla de sachá inchi		p-valor	Torta de sachá inchi		p-valor
	Peletizado	Extruido		Peletizado	Extruido	
Valores de energía, kcal/kg MS						
Energía bruta (EB)	6,371.6	6,376.6		4,798.5	4,824.9	
Energía digestible	3,296 \pm 155.8	3,681 \pm 315.8	0.26	4,621 \pm 237.1	4,161 \pm 262.5	0.13
Energía metabolizable	2,676 \pm 711.1	3,243 \pm 36.4	0.38	4,346 \pm 380.5	4,137 \pm 152.5	0.53
Utilización de la energía, %						
Digestibilidad EB	51.7 \pm 2.4	57.7 \pm 4.9	0.26	96.3 \pm 4.9	86.2 \pm 5.4	0.13
Metabolicidad	42.0 \pm 11.2	50.9 \pm 0.6	0.38	90.1 \pm 7.9	85.7 \pm 3.2	0.53

actividad enzimática en el intestino debido a que producen el desdoblamiento de las cadenas proteicas vegetales, facilitando la acción enzimática (Vílchez *et al.*, 2016). Esto implica que la proteína se disocia y libera, quedando más disponible para la digestión (Alonso *et al.*, 2000; Zamora, 2003; Murillo, 2020).

En efecto, una remoción parcial de los taninos y ácido fítico probablemente crea un espacio dentro de la matriz, el cual incrementa

la susceptibilidad al ataque enzimático y consecuentemente incrementa la digestibilidad después del proceso de cocción, mejorando la eficiencia productiva de los animales (Rehman y Shah, 2005; Kiarie y Mills, 2019), lo que pone en evidencia la estrecha relación existente entre el valor nutritivo de los alimentos y su coeficiente de digestibilidad (Ly *et al.*, 2013) dependiendo sus variaciones del contenido de carbohidratos solubles y de proteínas (Farro, 2012; Kristiawan *et al.*, 2019).

La alta digestibilidad también podría deberse al alto contenido de PB de la semilla de sachá inchi precocida de 40.6% y torta de sachá inchi precocida de 65.6% y al menor contenido de FC, lo cual permite al cuy tener una buena digestión enzimática y fermentativa. El procesamiento térmico de los alimentos permite la modificación del almidón, incrementa la solubilidad de la fibra, la mayor oxidación de los lípidos y desnaturalización de la proteína (Kristiawan *et al.*, 2019), favoreciendo con ello la digestibilidad. Por otra parte, los cuyes son más eficientes para digerir alimentos fibrosos y poseen una elevada capacidad de almacenamiento en su tracto digestivo frente a otros animales como los conejos (Sakaguchi y Ohmura, 1992; Franz *et al.*, 2011). En este sentido, Ly *et al.* (2013) mencionan que la digestibilidad de los alimentos mantiene directa relación con el contenido nutritivo (FC, principalmente). Por su parte, Caycedo (2000) manifiesta que a mayor capacidad fermentativa del tracto gastrointestinal del cuy, que alcanza valores a nivel del ciego de 46% y en el colon de 29%, también podría explicar las mayores diferencias en la digestibilidad de la MS de los alimentos.

Energía Digestible y Metabolizable Aparente

Los valores de EDa y EMa de la semilla de sachá inchi peletizado y extruida fueron similares entre sí ($p > 0.05$) al igual que la eficiencia digestiva (54.8% en promedio) y metabolizabilidad (46.4%) ($p > 0.05$). Resultados similares se aprecian para la torta de sachá inchi peletizado y extruida donde la EDa, EMa y utilización de la energía no guardan diferencias entre sí ($p > 0.05$) (Cuadro 6). La EDa de la semilla y torta de sachá inchi peletizado y extruida fueron superiores a los valores reportados de 2531 kcal/kg MS del polvillo de arroz (Farro, 2012), y valor de 2810 kcal/kg del residuo de quinua (Calcina, 2015). Así mismo, los valores de EMa de la semilla de sachá inchi precocido y torta de sachá inchi precocido tanto peletizado como extruida presentan una mayor concentración de EMa con relación al 1217.3 kcal/kg del afrecho de tri-

go, 3009.3 kcal/kg de la harina de pescado, 2761.0 kcal/kg de la torta de soya y 3227.27 kcal/kg del maíz, reportados por Japan (2000).

Las variaciones en los valores energéticos estarían determinadas por la composición química de las dietas, en las cuales la inclusión de torta de sachá inchi tuvo un menor aporte de EE, determinando un mayor aporte de proteína, favoreciendo el mayor aprovechamiento a nivel digestivo y metabólico de los nutrientes (Moscoso-Muñoz *et al.*, 2020; Murillo, 2020). Diversos estudios muestran a la grasa como uno de los nutrientes cuyo valor como alimento animal presenta mayor variabilidad, siendo influenciada principalmente por su nivel de consumo (Plascencia *et al.*, 2005), ya que cuando la cantidad de los lípidos que llegan al duodeno sobrepasa la limitada capacidad de producción biliar y enzimática intestinal, hecho que pudo ocurrir debido al elevado contenido de grasa de la semilla de sachá inchi; afectando su absorción. Este proceso de digestión y absorción de los lípidos se ve afectada por la edad de los animales, las características propias del lípido como son la longitud de la cadena del ácido graso, nivel de saturación o número de dobles enlaces (Plascencia *et al.*, 2005; Tancharoenrat *et al.*, 2013), la presencia o ausencia de éster (triglicéridos o ácidos grasos libres), la relación entre ácidos grasos saturados e insaturados y la flora intestinal (Plascencia *et al.*, 2005).

CONCLUSIONES

- Para el caso de la semilla y torta de sachá inchi precocido peletizado y precocido extruido:
- La digestibilidad aparente de la materia seca fue 54.4, 48.7, 82.5 y 76.7%, respectivamente.
- La energía digestible aparente fue de 3296, 3681, 4621 y 4161 kcal/kg MS, y la energía metabolizable aparente fue de 2676, 3243, 4346 y 4137 kcal/kg MS, respectivamente.

LITERATURA CITADA

1. **Adeleke OR, Adiamo OQ, Fawale OS, Olami G. 2017.** Effect of processing methods on antinutrients and oligosaccharides contents and protein digestibility of the flours of two newly developed bambara groundnut cultivars. *Int Food Res J* 24: 1948-1955.
2. **Alcívar J, Martínez M, Lezcano P, Scull I, Valverde A. 2020.** Technical note on physical-chemical composition of sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) cake. *Cuban J Agr Sci* 54: 19-23.
3. **Alonso R, Aguirre A, Marzo F. 2000.** Efectos de la extrusión y los métodos de procesamiento tradicionales sobre los antinutrientes y la digestibilidad *in vitro* de proteínas y almidones en habas y frijoles. *Quím Alimentos* 68: 159-165.
4. **[AOAC] Association of Official Analytical Chemists. 2007.** Official methods of chemical analysis. Association of Official Analytical Chemists. 18th ed. Gaithersburg. 1018 p.
5. **Barzegar Sh, Wu SB, Choct M, Swick RA. 2020.** Factors affecting energy metabolism and evaluating net energy of poultry feed. *Poultry Sci* 99: 487-498. doi: 10.3382/ps/pez554
6. **Benítez R, Coronell C, Martin J. 2018.** Chemical characterization sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) seed: oleaginoso promising from the Colombian Amazon. *Int J Curr Sci Res Rev* 1: 1-12
7. **Calcina CG. 2015.** Digestibilidad y valor energético de residuos de quinua «jipi» en cuyes. Tesis de Médico Veterinario Zootecnista. Puno, Perú. Univ. Nacional del Altiplano. 76 p.
8. **Camino J, Hidalgo V. 2014.** Evaluación de dos genotipos de cuyes (*Cavia porcellus*) alimentados con concentrado y exclusión de forraje verde. *Rev Inv Vet Perú* 25: 190-197. doi: 10.15381/rivep.v25i2.8490
9. **Caycedo AJ. 2000.** Experiencias investigativas en la producción de cuyes: contribución al desarrollo técnico de la explotación. Doc. 19624, Bogotá, Colombia: Univ. de Nariño. 323 p.
10. **Crampton E, Harris L. 1974.** Nutrición animal aplicada. 2^o ed. Zaragoza, España: Acribia. 756 p.
11. **de Figueiredo LBF, Rodrigues RTS, Leite MFS, Gois GC, Araújo DH, de Alencar MG, Oliveira TPR, et al. 2020.** Effect of sex on carcass yield and meat quality of guinea pig. *J Food Sci Technol* 57: 3024-3030. doi: 10.1007/s13197-020-04335-3
12. **Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, Robledo CW. 2018.** InfoStat versión 2018. Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba.
13. **Drew MD, Borgeson TL, Thiessen DL. 2007.** A review of processing of feed ingredients to enhance diet digestibility in finfish. *Anim Feed Sci Technol* 138: 118-136. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2007-06.019
14. **Farro GE. 2012.** Digestibilidad aparente, energía digestible y metabolizable de cascarilla de cacao, polvillo de arroz y harina de pituca (*Colocacia esculenta*) en cuyes (*Cavia porcellus*). Tesis de Ingeniero Zootecnista. Tingo María, Perú: Univ. Nacional Agraria de la Selva. 65 p.
15. **Franz R, Kreuzer M, Hummel J, Hatt JM, Clauss M. 2011.** Intake, selection, digesta retention, digestion and gut fill of two coprophageous species, rabbits (*Oryctolagus cuniculus*) and guinea pigs (*Cavia porcellus*), on a hay-only diet. *J Anim Physiol An N* 95: 564-570. doi: 10.1111/j.1439-0396.2010.01084.x
16. **Gaopeng Z, Yangyue D, Chunlei N, Qingfeng B, Li X, Liandong G, Jianjun C. 2019.** Physicochemical and morphological properties of extruded Adlay (*Coix lachryma-jobi* L) flour. *J*

- Chem 2019: ID 6239870. doi: 10.1155/2019/6239870
17. **Gaylord TG, Barrows FT, Rawles SD. 2008.** Apparent digestibility of gross nutrients from feedstuffs in extruded feeds for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. J World Aquacult Soc 39: 827-834. doi: 10.1111/j.1749-7345.2008.-00220.x
 18. **Glencross B, Blyth D, Tabrett S, Bourne N, Irvin S, Anderson M, Fox-Smith T, Smullen, R. 2012.** An assessment of cereal grains and other starch sources in diets for barramundi (*Lates calcarifer*) – implications for nutritional and functional qualities of extruded feeds. Aquacult Nutr 18: 388-399. doi: 10.1111/j.1365-2095.2011.00903.x
 19. **Guevara J, Rojas S, Carcelén F, Bezada S, Arbaiza T. 2016.** Parámetros productivos de cuyes criados con dietas suplementadas con aceite de pescado y semillas de Sachá Inchi. Rev Inv Vet Perú 27: 715-721. doi: 10.15381/rivep.v27i4.12560
 20. **Gutiérrez L, Quiñones Y, Sanchez-Reinoso Z, Díaz D L, Abril JI. . 2017.** Physicochemical properties of oils extracted from γ -irradiated Sachá Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds. Food Chem 237: 581-587. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.05.148
 21. **Hidalgo LV, Valerio CH. 2020.** Digestibilidad y energía digestible y metabolizable del gluten de maíz, hominy feed y subproducto de trigo en cuyes (*Cavia porcellus*). Rev Inv Vet Perú 31: e17816. doi: 10.15381/rivep.v31i2.17816
 22. **Honorato CA, Nunes CS, Almeida LC, Carrilho EN, Moraes G 2012.** Digestibilidade de dietas peletizadas e extrusadas para o pacu: quantificação do óxido de cromo. Rev Acad Ciênc Agr Amb 10: 269-275. doi: 10.7213/academica.-7712
 23. **Huarco YD. 2012.** Determinación de la digestibilidad aparente de la semilla despigmentada de achiote (*Bixa orellana*) en el cuy (*Cavia porcellus*) INIA-EEA ANTA. Tesis de Ingeniero Zootecnista. Cusco, Perú: Univ. Nacional San Antonio Abad del Cusco. 107 p.
 24. **Japan B. 2000.** Determinación de energía metabolizable de insumos tradicionales en cuyes (*Cavia porcellus*) en Tingo María. Tesis de Ingeniero Zootecnista. Tingo María, Perú: Univ. Nacional Agraria de la Selva. 43 p.
 25. **Kiarie EG, Mills A. 2019.** Role of feed processing on gut health and function in pigs and poultry: conundrum of optimal particle size and hydrothermal regimens. Front Vet Sci 6. doi: 10.3389/fvets.2019.00019
 26. **Kodahl N. 2020.** Sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L) - from lost crop of the Incas to part of the solution to global challenges? Planta 251(4): 1-22.
 27. **Kristiawan M, Chaunier L, Della Valle G, Ndiaye A, Vergnes B. 2019.** Modeling of starchy melts expansion by extrusion. Trends Food Sci Technol 48: 13-26. doi: 10.1016/j.tifs.2015.11.004
 28. **Loor-Mendoza N. 2016.** Fundamentos de los alimentos peletizados en la nutrición animal. Rev Cient Dominio de las Ciencias 2: 323-333.
 29. **Ly J, Reyes L, Delgado E, Castro M. 2013.** Royal palm nut meal for fattening pigs. Influence of body weight on rectal digestibility and faecal output of materials. Cuban J Agr Sci 47: 283-287.
 30. **Mateos GG, Cámara G, Fondevila G, Lázaro RP. 2018.** Critical review of the procedures used for estimation of the energy content of diets and ingredients in poultry. J Appl Poultry Res 28: 506-525. doi: 10.3382/japr/pfy025
 31. **Mendoza G, Sánchez G, León Z, Loyaga B. 2019.** Effect of dietary sachá inchi pressed cake as a protein source on guinea pig carcass yield and meat quality. Pak J Nutr 18: 1021-1027. doi: 10.3923/pjn.2019.1021.1027
 32. **Moscoso-Muñoz JE, Gomez-Quispe O, Guevara-Carrasco V. 2020.** Contenido de energía metabolizable y energía neta del maíz, subproducto de trigo, harina de soya, harina de pescado y aceite de soya para pollos de carne. Sci Agropecu 11: 335-344.

33. **Murillo R. 2020.** Aplicación de la tecnología de extrusión en productos con alto contenido en proteína. Tesis Doctoral. Valencia, España: Universitat Politècnica de València. 43 p.
34. **[NRC] National Research Council. 1995.** Nutrient requirements of laboratory animals. 4th rev ed. Washington DC: National Academy Press. 187 p.
35. **Plascencia A, Mendoza G, Vázquez C, Avery R. 2005.** Factores que influyen en el valor nutricional de las grasas utilizadas en las dietas para bovinos de engorda en confinamiento: una revisión. *Interciencia* 30: 134-142.
36. **Quintana R. 2010.** Inhibición de factores antinutricionales (taninos), presentes en la semilla y torta del sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) mediante diferentes tratamientos térmicos. Tesis de Ingeniero Zootecnista. Tingo María, Perú: Univ. Nacional Agraria de la Selva. 74 p.
37. **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
38. **Rehman Z, Shah WH. 2005.** Thermal heat processing effects on antinutrients, protein and starch digestibility of food legumes. *Food Chem* 91: 327-331. doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2004.06.019
39. **Romero H, Valdiviezo R, Bonilla R. 2019.** Characterization of sachá inchi seed oil (*Plukenetia volubilis*) from «Canton San Vicente, Manabí, Ecuador», obtained by non-thermal extrusion processes. *La Granja* 30: 70-79.
40. **Sánchez-Macías D, Barba-Maggi L, Morales-de la Nuez A, Palmay-Paredes J. 2018.** Guinea pig for meat production: a systematic review of factors affecting the production, carcass and meat quality. *Meat Sci* 143: 165-176. doi: 10.1016/j.meatsci.2018.05.004
41. **Sanz P, Surra M, Obiols I, Seguí P. 2001.** Relación entre el nivel de grasa e ingestión y la excreción urinaria de nitrógeno y energía en gazapos en crecimiento y cebo. *Inv Agraria Prod Sanidad Anim* 16: 227-236.
42. **Sakaguchi E, Ohmura S. 1992.** Fiber digestion and digesta retention time in guinea pigs (*Cavia porcellus*), deus (*Octodon degus*) and leaf-eared mice (*Phyllotis darwini*). *Comp Biochem Physiol* 103: 787-791. doi: 10.1016/0300-9629(92)90182-p
43. **Tancharoenrat, P, Ravindran V, Zaefarian F, Ravindran G. 2013.** Influence of age on the apparent metabolizable energy and total tract apparent fat digestibility of different fat sources for broiler chickens. *Anim Feed Sci Tech* 186: 186-192. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2013.10.013
44. **Tarrillo BP, Mirez KF, Mejía WB. 2018.** Uso de alimento peletizado en crecimiento-engorde de cuyes mejorados (*Cavia porcellus*) en Chota. *Revista Nor@ndina* 1: 36-43.
45. **Vilchez P.C, Huamani ÑG, Zea MO, Gutiérrez RG. 2016.** Efecto de tres sistemas de alimentación sobre el comportamiento productivo y perfil de ácidos grasos de carcasa de cuyes (*Cavia porcellus*). *Rev Inv Vet Perú* 27: 486-494. doi: 10.15381/rivep.v27i3.12004
46. **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
47. **Zamora NC. 2003.** Efecto de la extrusión sobre la actividad de factores antinutricionales y digestibilidad in vitro de proteínas y almidón en harinas de *Canavalia ensiformis*. *Arch Latinoam Nutr* 53: 293-298.