

## Energía metabolizable aparente y digestibilidad de la semilla de quinua (*Chenopodium quinoa*) en pavos de 5 y 10 semanas de edad

Apparent metabolizable energy and digestibility of quinoa (*Chenopodium quinoa*) seed in turkeys of 5 and 10 weeks of age

Manuel Paredes<sup>1\*</sup>, Neyser Albarrán<sup>1</sup>

### RESUMEN

El objetivo del estudio fueron estimar el contenido de energía metabolizable aparente y los coeficientes de digestión de la semilla de quinua (*Chenopodium quinoa*) en pavos de 5 y 10 semanas de edad. Se evaluaron cuatro dietas: basal iniciador (BI), BI +20% quinua (BIQ), basal finalizador (BF) y BF + 20% quinua (BFQ) en dos periodos. En el primero se utilizaron 12 pavos machos Hybrid Converter (peso inicial = 601.2 g; edad = 21 d) distribuidos en dos tratamientos dietéticos (BI y BIQ) con 3 repeticiones de 2 pavos (2 aves por jaula metabólica). A los 33, 34 y 35 días de edad se controló el consumo y las excretas. En la segunda evaluación se utilizaron 6 pavos machos del lote original de 400 aves (peso = 3825.3 g; edad = 56 d) distribuidos en dos tratamientos dietéticos (BF y BFQ) con 3 repeticiones de 1 pavo cada una. A los 68, 69 y 70 días de edad se controló el consumo y las excretas. En la fase de 5 semanas, los coeficientes de digestión de materia seca (MS), proteína bruta (PC), extracto etéreo (EE), extracto libre de nitrógeno (ELN) y energía metabolizable aparente (EMA) de la dieta BIQ fue mayor ( $p < 0.05$ ) que la dieta BI. Sin embargo, en el grupo de 10 semanas, la dieta BFQ mostró coeficientes de digestión

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería en Ciencias Pecuarias, Universidad Nacional de Cajamarca, Perú  
\* E-mail: [mparedes@unc.edu.pe](mailto:mparedes@unc.edu.pe)

Recibido: 13 de agosto de 2022

Aceptado para publicación: 30 de marzo de 2023

Publicado: 31 de octubre de 2023

©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

más bajos ( $p < 0.05$ ) para PC, EE y EMA que la dieta basal BF. Estos resultados permitieron determinar los coeficientes de digestión y EMA de la semilla de quinua ingerida por pavos de 5 y 10 semanas. Los resultados indican que la semilla de quinua en pavos tiene mayor EMA, mayores coeficientes de digestión de MS, PC y EE a las 5 semanas que a las 10 semanas de edad.

**Palabras clave:** semilla de quinua, energía metabolizable, digestibilidad, pavos

## ABSTRACT

The aim of this study was to estimate the apparent metabolizable energy content and digestion coefficients of quinoa (*Chenopodium quinoa*) seed in turkeys of 5 and 10 weeks of age. Four diets were evaluated: starter basal (BI), BI+20% quinoa (BIQ), finisher basal (BF) and BF + 20% quinoa (BFQ) in two periods. In the first period, 12 Hybrid Converter male turkeys (initial weight = 601.2 g; age = 21 d) distributed in two dietary treatments (BI and BIQ) with 3 repetitions of 2 turkeys (2 birds per metabolic cage) were used. At 33, 34 and 35 days of age, consumption and excreta were controlled. In the second evaluation, 6 male turkeys from the original flock of 400 birds were used (weight = 3825.3 g; age = 56 d) and distributed in two dietary treatments (BF and BFQ) with 3 repetitions of 1 turkey each. At 68, 69 and 70 days of age, consumption and excreta were controlled. In the 5-week phase, the digestion coefficients of dry matter (DM), crude protein (PC), ethereal extract (EE), nitrogen-free extract (ELN) and apparent metabolizable energy (EMA) of the BIQ diet was greater ( $p < 0.05$ ) than the BI diet. However, in the 10-week group, the BFQ diet showed lower digestion coefficients ( $p < 0.05$ ) for PC, EE, and EMA than the BF basal diet. These results allowed determining the digestion coefficients and EMA of the quinoa seed ingested by turkeys of 5 and 10 weeks. The results indicate that quinoa seed in turkeys has a greater EMA, and greater DM, PC and EE digestion coefficients at 5 weeks than at 10 weeks of age.

**Key words:** quinoa seed, metabolizable energy, digestibility, turkeys

## INTRODUCCIÓN

La quinua (*Chenopodium quinoa*) es un cultivo andino de origen sudamericano, que desde la antigüedad se utiliza en alimentación humana y en piensos para animales (Repo-Carrasco *et al.*, 2003). La quinua se cultiva en zonas geográficas que van desde el nivel del mar hasta los 4000 msnm con rendimientos que varían de 1 a 7 t/ha (Gómez y Aguilar, 2016). La semilla de quinua es considerada como un pseudo cereal (Kubelková *et al.*, 2013), rico en ácidos grasos oleico y linoleico, y altos contenidos de metionina (4-10 g/kg MS) y lisina (51-64 g/kg MS)

(Bhargava *et al.*, 2003). La semilla de quinua sin descascarillar se ha utilizado como alimento para pollos de engorde, pero sin exceder niveles de inclusión de 150 g/kg de la dieta (Jacobsen *et al.*, 1997). Improta y Kellens (2001) consideran que pulir o lavar la quinua antes de mezclarla con otro alimento son opciones viables para mejorar el rendimiento de los pollos de engorde cuando la quinua es un componente principal de la dieta.

La semilla de quinua tiene una cáscara que representa el 10% de la semilla, y contiene saponinas amargas que se eliminan antes del consumo (Jacobsen *et al.*, 1997). En general, las saponinas se consideran facto-

res anti nutricionales, pero en pequeñas cantidades han mostrado efectos positivos en el rendimiento de rumiantes, aves y cerdos (Francis *et al.*, 2002). También se ha evaluado la harina de cáscara de quinua como aditivo alimentario en dietas de lechones destetados (Carlson *et al.* 2012). Asimismo, se ha determinado que la quinua y el amaranto tienen características de degradación en el primer compartimiento de alpacas similares a las del grano de cebada (Nilsen *et al.*, 2015).

En general, los granos de cereales como el trigo, sorgo, cebada y maíz se usan comúnmente en las dietas de las aves como fuentes principales de energía (Khalil *et al.*, 2021), mientras que la soja es la fuente de proteína más importante en la alimentación del ganado y aves (Kuenz *et al.*, 2022). Olukosi *et al.* (2019), con el propósito de reducir la dependencia de harina de soja en pollos de engorde, determinaron el valor nutricional de habas (*Vicia faba* L), lupinos y quinua, incluyendo el perfil de aminoácidos y la determinación del valor de energía metabolizable aparente (EMA).

El conocimiento del contenido de EMA de los ingredientes alimenticios es fundamental para su uso eficiente en la formulación de alimentos para aves, a pesar de las limitaciones que tienen los métodos de determinación (Mateos *et al.*, 2019; Wu *et al.*, 2020). La EMA es el sistema globalmente aceptado para describir la energía disponible para las aves (Santomá y Mateos, 2018). Asimismo, la mayor parte de datos publicados de EMA en los ingredientes alimenticios se han generado con pollos de engorde y han sido aplicados a otras especies de aves de producción. Esta práctica pasa por alto el efecto potencial de la especie y edad de las aves en el contenido de EMA de los ingredientes del pienso. Se ha demostrado que la edad de las aves influye en la digestión y absorción de nutrientes que producen energía (Tancharoenrat *et al.*, 2013). Las aves muestran una capacidad

variable para digerir y metabolizar nutrientes, dependiendo de la edad, especialmente en ingredientes de piensos que contienen sustancias antinutritivas (Kiarie *et al.*, 2014) como podría ser el caso de la semilla de quinua para el pavo.

El contenido de energía de la dieta representa el principal componente del costo de un alimento; sin embargo, se puede predecir a partir de los valores químicos de los nutrientes utilizando constantes de digestibilidad (Cerrate *et al.*, 2019), sin tener en cuenta que, la utilización de energía metabolizable o el incremento de calor se ven afectados por las características químicas de la dieta o los nutrientes digeribles. Ante esto, se requiere conocer básicamente los nutrientes digeribles determinados en los propios animales cuando se utilizan ingredientes alternativos (Ball *et al.*, 2013). Por tanto, los objetivos de este estudio fueron estimar (1) el valor de la EMA de la semilla de quinua y (2) la digestibilidad de los nutrientes de la semilla de quinua en pavos de engorde de 5 y 10 semanas de edad, a partir de sus componentes químicos y mediante pruebas de digestibilidad por sustitución.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización del Estudio

El presente trabajo, en su fase de alimentación y colecta de las excretas del pavo, se llevó a cabo en una granja de propiedad privada ubicada en Cajamarca, Perú, a una altitud de 3040 msnm. Los análisis químicos de la semilla de quinua, dietas y excretas se realizaron en el Laboratorio de Bromatología del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) - Cajamarca y en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA) de la Universidad Nacional Agraria La Molina, en Lima.

Cuadro 1. Análisis químico (%) y energía bruta (kcal/kg) del grano de quinua (% en base fresca)

	Valores
Materia seca	87.68
Proteína cruda	10.71
Extracto etéreo	5.82
Fibra cruda	2.01
Ceniza	2.02
Extracto libre de nitrógeno	67.12
Energía bruta	4021.1

### La Quinua y las Dietas

La quinua se obtuvo de un proveedor comercial de Cajamarca. Se adquirió quinua perlada, que es el grano limpio que recibe proceso de escarificado y lavado, con lo cual se elimina la saponina. El grano de quinua utilizado en el presente estudio fue el grano más pequeño obtenido luego de la selección del grano destinado para alimentación humana. La composición proximal y valor energético del grano andino de quinua se determinó en el LENA, y se presenta en el Cuadro 1.

Se trabajó con cuatro dietas para determinar por diferencia el coeficiente de digestión de nutrientes del grano de quinua y su valor energético. Las dietas basales o de referencia se formularon de acuerdo con los requerimientos nutricionales para el pavo de engorde (Santomá y Mateos, 2018), y estuvieron constituidas por los piensos iniciador (1-5 semanas de edad) y finalizador (6-10 semanas). La composición se indica en el Cuadro 2. Las dietas basales fueron mezcladas con el grano de quinua, en proporciones de 80% pienso y 20% quinua. El análisis proximal y valor energético de los piensos iniciador y finalizador, y de las dietas iniciador + quinua y finalizador + quinua se presentan en el Cuadro 3.

### Manejo de las Aves y Tratamientos

Se obtuvieron 400 pavos de engorde de un día de edad (Hybrid Converter) de la empresa ISAMISA, en Lima, y trasladados vía aérea a Cajamarca. Las aves fueron criadas en un galpón de 100 m<sup>2</sup>, ambientalmente controlado, con piso de cemento y cama de viruta. Se asignaron 12 pavos machos de 21 días y con peso de  $601.2 \pm 0.08$  g a los dos grupos experimentales. El control del peso de los pavos se realizó con una balanza KERN de capacidad 2100 g y precisión de lectura 0.01 g. Cada tratamiento contó con 6 pavos distribuidos en 3 jaulas metabólicas (2 aves por jaula), y dos repeticiones. Los tratamientos fueron determinados por el tipo de dieta: dieta basal iniciadora (BI) y dieta basal iniciadora + Quinua (BIQ). Cada jaula metabólica estuvo construida por listones de madera con paredes y techo de malla metálica y piso enrejillado, de tamaño 0.90 m de largo, 0.85 m de ancho y 1 m de altura. Las jaulas estuvieron provistas de comederos y bebederos automáticos. Cada jaula tenía cuatro patas de madera de 20 cm de altura y debajo contaba con bandejas colectoras de excretas.

Los pavos BI consumieron el alimento iniciador desde el primer día hasta los 35 días de edad, mientras que los pavos BIQ los consumieron hasta el día 20, y a partir del día 21 consumieron la dieta experimental. Se hizo un control riguroso de la ingesta de alimento y colecta de excretas los últimos tres días de la fase inicial (días 33-35). Se retiraron las heces que quedaban pegadas en el piso de la jaula y también se separó manualmente el alimento caído en la bandeja colectora de heces. El pesaje del alimento suministrado y heces obtenidas se realizó en la balanza KERN.

Los pavos entre 36 días y 70 días de edad recibieron alimento finalizador, y seguidamente fueron beneficiados. En este periodo, a partir del día 56 de edad se seleccionó un nuevo lote de pavos machos al azar. Estos fueron pesados y distribuidos en jaulas indivi-

Cuadro 2. Composición (g/kg, base fresca) de los piensos de referencia Iniciador (1-5 semanas) y Finalizador (6-10 semanas)

Ingredientes	Iniciador	Finalizador
Maíz amarillo	280	330
Arroz partido	100	150
Polvillo de arroz	100	100
Soya integral	100	100
Torta de soya	300	200
Harina de pescado	75	40
Aceite de palma	--	40
Carbonato de calcio	9.5	11
Fosfato monodivalente	22.4	20
Sal común	3.0	40
Bicarbonato de sodio	1.0	--
DL Metionina	2.0	1.5
L-Lisina HCl	2.5	2.5
Antimicótico	1.0	--
Premezcla vitamínica mineral	1.0	1.0
Zinc bacitracina	0.5	--
Anticoccidial	0.5	--

<sup>1</sup>Cada kilogramo contiene: Vit. A 10 000 mil UI, Vit. D3 3 000 mil UI, Vit. E 12 000 UI, Vit. K3 2.5 g, tiamina 2 g, riboflavina 6 g, cianocobalamina 12 mg, ácido pantoténico 16 g, ácido fólico 21,5 g, niacina 120 mg, Mn 65 g, Zn 65 g, Fe 80 g, Cu 10 g, I 1 g, Se 200 mg. Producto comercializado como Proapack Pavos por Distribuidora Montana S.A., Perú

Cuadro 3. Análisis químico (%) y energía bruta (kcal/kg) de las dietas experimentales (en porcentaje en base fresca)

	Iniciador 100%	Finalizador 100%	Iniciador 80% Quinua 20%	Finalizador 80% Quinua 20%
Materia seca	89.54	91.07	89.17	90.39
Proteína cruda	25.06	19.93	22.19	18.09
Extracto etéreo	4.79	7.32	5.00	7.02
Fibra cruda	2.52	2.58	2.42	2.47
Ceniza	7.76	7.12	6.61	6.10
Extracto libre de nitrógeno	49.41	54.11	52.95	56.71
Energía bruta	4021.2	4166.8	4021.6	4137.9

duales (las mismas utilizadas en la fase previa). Se seleccionaron seis pavos, tres por tratamiento con peso de  $3825.3 \pm 0.2$  g, de tal manera que cada tratamiento tuvo tres réplicas. Los tratamientos estuvieron consti-

tuidos por la dieta basal finalizadora (BF) y la dieta basal finalizadora + quinua (BFQ). En forma similar, los últimos tres días se colectaron y pesaron las excretas y se midió el consumo de alimento.

Cuadro 4. Análisis químico (%) y energía bruta (kcal/kg) de las excretas según dietas experimentales (en porcentaje en base fresca)

	Iniciador 100%	Finalizador 100%	Iniciador 80% Quinua 20%	Finalizador 80% Quinua 20%
Materia seca	22.57	25.86	23.04	27.52
Proteína cruda	6.79	5.58	6.32	7.21
Extracto etéreo	1.19	1.44	1.20	2.81
Fibra cruda	2.18	2.60	2.35	2.91
Ceniza	4.11	4.63	4.41	5.37
Extracto libre de nitrógeno	8.30	8.32	8.73	9.22
Energía bruta	930.4	760.7	924.6	1174.9

### El Bioensayo y la Colecta de Excretas

Los coeficientes de digestión de nutrientes y energía de las dietas se determinaron mediante la recolección total de excretas. Los procedimientos realizados comprendieron un periodo de adaptación de 12 días y 3 días de control de la ingesta y de las excretas, tanto para las fases de inicial como de final. Los pavos fueron alimentados con las dietas experimentales *ad libitum*.

Las excretas de cada jaula se recogieron tres veces al día a través de bandejas de plástico colocadas desde las 09:00 del día 33 hasta las 09:00 del día 35 en la primera etapa, y desde las 09:00 del día 68 hasta las 09:00 del día 70 en la segunda etapa. Las excretas fueron pesadas luego de cada recolección. De la primera colecta de cada día se llevó una muestra en una bolsa de polietileno al laboratorio del INIA para la determinación de la materia seca. Las excretas en la granja fueron desecadas al aire bajo sombra durante 24 h y conservadas a -20 °C para su posterior traslado al laboratorio LENA para realizar el análisis proximal y determinación de energía bruta (Cuadro 4).

### Análisis Químico y Determinaciones Matemáticas

Se realizó el análisis químico de las dietas, de la quinua y de las excretas, para materia seca, proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda, cenizas y extracto libre de nitrógeno, siguiendo los procedimientos indicados por la AOAC (2005). La energía bruta de las dietas, quinua y excretas fue determinada en una bomba calorimétrica adiabática (Gallenkamp Autobomb, London, UK) estandarizada con ácido benzoico. Se determinaron los coeficientes de digestión mediante la fórmula general: Coeficiente (%) =  $[(\text{Nutriente consumido} - \text{Nutriente excretado}) / \text{Nutriente consumido}] \times 100$ .

Primero se determinaron los coeficientes de digestión de los nutrientes de los piensos basales BI y BF. Asimismo, aquellos de las dietas a base de piensos iniciador y finalizador más quinua, BIQ y BFQ. Conociendo los coeficientes de digestión de los piensos BI, BF, BIQ y BFQ se determinaron por diferencia los coeficientes de digestibilidad del grano de quinua.

Cuadro 5. Coeficientes de digestión de nutrientes, energía metabolizable aparente y metabolicidad de las dietas basal y basal + quinua para pavos de 33 a 35 días de edad (Fase inicial)

	Dieta basal	Dieta basal + quinua	SEM	Valor p
MS, %	80.54	81.30	0.37	0.006
PC, %	79.09	79.39	0.15	0.077
EE, %	80.82	82.63	0.91	0.001
FC, %	33.22	29.72	1.75	0.004
ELN, %	87.03	88.07	0.52	0.002
EMA, kcal/kg	2772.10	2864.13	46.01	0.007
Metabolicidad, EMA/EB, %	83.72	87.58	1.93	0.004

MS: materia seca; PC: proteína cruda; EE: extracto etéreo; FC: fibra cruda; ELN: extracto libre de nitrógeno; EMA: energía metabolizable aparente; EB: energía bruta; SEM: error estándar de la media

Los valores de la energía metabolizable aparente (EMA) de las dietas fueron determinados de acuerdo con la siguiente fórmula:  $EMA \text{ (kcal/kg de dieta)} = (\text{Energía bruta ingerida} - \text{Energía bruta excretada}) / \text{Ingesta de alimento}$ .

Los valores de EMA del grano de quinua, tanto a las 5 y 10 semanas de edad del pavo, se determinaron con la fórmula:  $EMA \text{ quinua (kcal/kg)} = [EMA_{bq} - EMA_b \times (1 - C)] / C$ , donde  $EMA_{bq}$  es la EMA de la dieta basal + quinua,  $EMA_b$  es la EMA de la dieta basa, y C es la proporción de sustitución = 0.20.

La metabolicidad de la energía se determinó por la relación entre la energía metabolizable sobre la energía bruta, de las dietas o del grano de quinua, según el caso.

### Análisis Estadístico

Los datos de digestión de nutrientes y el valor de EMA de las dietas experimentales se analizaron mediante un análisis de varianza de acuerdo con un diseño completamente al azar con dos tratamientos usando el software SAS. El efecto de la edad de los pavos sobre la digestión de los nutrientes y el valor de la energía del grano de quinua fue determinado mediante prueba «t» de Student.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Coefficiente de digestión de nutrientes y EMA de las dietas*

Los coeficientes de digestión de los nutrientes y los valores de EMA de las dietas BI y BIQ en pavos de 5 semanas de edad se muestran en el Cuadro 5, en tanto que aquellos para las dietas BF y BFQ en pavos de 10 semanas de edad se muestran en el Cuadro 6.

Comparativamente la dieta BIQ con grano de quinua presenta mayores coeficientes de digestión de la MS, PC, ELN, EE y EB, y mejor valor de la EMA que los de la dieta BI. Los pavos a las cinco semanas de edad asimilan relativamente bien los nutrientes del grano de quinua. Los pavos con la dieta BIQ tuvieron menor excreción de nutrientes que los pavos con la dieta BI. Es conocido que la semilla de quinua contiene más de 85% de ácidos grasos insaturados del total de sus ácidos grasos (Peiretti *et al.*, 2013), lo que explicaría la mayor digestibilidad del EE de la dieta con quinua.

La dieta BIQ tiene mejor coeficiente de digestión del ELN que la dieta BI. Por lo general la fracción de ELN está compuesta

Cuadro 6. Coeficientes de digestión de nutrientes, energía metabolizable aparente y metabolibilidad de las dietas basal y basal + quinua para pavos de 68 a 70 días de edad (Fase final)

	Dieta basal	Dieta basal + quinua	SEM	Valor p
MS, %	78.36	79.63	0.63	0.054
PC, %	75.56	73.33	1.12	0.028
EE, %	82.82	73.21	4.81	0.001
FC, %	11.97	21.16	4.59	0.009
ELN, %	86.56	89.21	1.35	0.002
EMA, kcal/kg	3048.28	2936.36	55.96	0.005
Metabolicidad, EMA/EB, %	86.79	83.65	1.28	0.006

MS: materia seca; PC: proteína cruda; EE: extracto etéreo; FC: fibra cruda; ELN: extracto libre de nitrógeno; EMA: energía metabolizable aparente; EB: energía bruta; SEM: error estándar de la media

Cuadro 7. Promedio y desviación estándar de los coeficientes de digestión de los nutrientes y energía metabolizable de la semilla de quinua en pavos de 5 y 10 semanas de edad (n=3;  $t_{0.05}=2.776$ )

	5 semanas	10 semanas	t calculado
MS, %	84.40 ± 0.22	60.50 ± 13.70	9.948
PC, %	84.60 ± 0.24	63.19 ± 3.28	14.419
EE, %	89.86 ± 0.20	37.88 ± 16.81	19.570
FC, %	15.72 ± 0.81	60.53 ± 29.67	4.916
ELN, %	92.21 ± 0.14	96.31 ± 3.46	3.356
EMA, kcal/kg	3232 ± 132.5	2489 ± 98.7	75.948
EMA/EB, %	92.30 ± 3.78	71.0 ± 2.82	12.384

Cuando  $t_{0.05} < t$  calculado existen diferencias estadísticas entre promedios

MS: materia seca; PC: proteína cruda; EE: extracto etéreo; FC: fibra cruda; ELN: extracto libre de nitrógeno; EMA: energía metabolizable aparente; EB: energía bruta

mayoritariamente por almidón; por tanto, la relación entre los coeficientes de digestión de ELN y FC concuerdan con los determinados por Cerrate *et al.* (2019), quienes determinaron que el coeficiente de digestión del almidón se asocia negativamente con el de la fibra de la dieta.

La EMA y la metabolibilidad de la energía de la dieta con quinua (BIQ) en los pavos de 5 semanas fue mayor ( $p < 0.01$ ) que las de la dieta BI (2864 kcal/kg y 87.6 para EMA y EMA/EB, respectivamente vs. 2772 kcal/kg y 83.7 para EMA y EMA/EB, respectivamente). Esto indicaría que la inclusión de

quinua potencia la retención de nutrientes y mejora el valor energético de la dieta inicial en estos pavos.

Con relación a la fase final, los coeficientes de digestión de la MS fueron similares en las dietas BF y BFQ, aunque la digestión de PC y EE fue mejor ( $p < 0.01$ ) con la dieta BF. La dieta BFQ tuvo mayor digestión de FC y ELN que la dieta BF (Cuadro 6). El valor de la EMA y la metabolicidad de la EB de la dieta BF fue mayor ( $p < 0.01$ ) que el de la dieta BFQ. La digestión de proteína fue mayor ( $p < 0.01$ ) en la dieta BF que en la dieta BFQ debido a una menor excreción de PC (5.58%) con la dieta BF respecto de la dieta BFQ (7.21%) (Cuadro 4), lo cual también guarda relación positiva con el contenido de proteína de las dietas (Cuadro 3). Del mismo modo los coeficientes de digestión del EE y ELN se vieron afectados positivamente por el EE y ELN dietario ( $p < 0.01$ ). A mayor cantidad de estas fracciones nutricionales en la dieta se determinó mayores coeficientes de digestión, lo cual concuerda con Cerrate *et al.* (2019) en pollos de engorde, quienes mejoraron la disponibilidad de los nutrientes con la inclusión de proteasas, lipasas y carbohidrasas en la dieta. Por tanto, la dieta BFQ, al contener menores coeficientes de digestión de nutrientes que la dieta BF, afectó directamente y produjo menores valores de EMA ( $p < 0.01$ ). Estos resultados podrían indicar que la inclusión de quinua en dietas de pavos de 10 semanas es menos asimilable que la quinua ingerida por pavos de 5 semanas de edad.

#### *Efecto de la edad del pavo sobre la metabolicidad y digestibilidad de la semilla de quinua*

La influencia de la edad del pavo de engorde en la digestión de MS, PC, EE, FC, ELN, EB y EMA de la quinua se resume comparativamente en el Cuadro 7.

Los coeficientes de digestión de MS, PC, EE y EB disminuyeron con el avance de la edad. Sin embargo, los valores de los

carbohidratos (ELN y FC) mejoraron en los pavos de mayor edad. El método empleado en el presente estudio para medir la EMA de la semilla de quinua fue el de sustitución, donde la quinua fue el ingrediente de prueba que sustituyó a una porción de la dieta de referencia compuesta por ingredientes utilizados en la alimentación de pavos. Otro método para medir la EMA de los cereales es el método directo, donde las dietas se componen casi exclusivamente con el ingrediente de prueba (McDonald *et al.*, 2013). Ese método es simple y elimina la necesidad de una dieta de referencia; sin embargo, se tiene el inconveniente de que no funciona si las dietas contienen ingredientes de baja palatabilidad. Por otro lado, estas metodologías pueden generar diferentes valores de EMA de los ingredientes (Khalil *et al.*, 2021; Olukosi *et al.*, 2019). Por tanto, es importante considerar el método o prueba en la utilización de los valores de digestión y del EMA en este estudio.

Los hallazgos del presente estudio no concuerdan con algunos resultados que sostienen que la utilización de energía y el valor energético de los alimentos aumenta con la edad del animal (Yang *et al.*, 2020). La ausencia de efecto positivo de la mayor edad sobre la EMA del grano de quinua en el presente estudio también fue observada en la baja digestibilidad de MS, PC, y EE del pavo de 10 semanas. Estos resultados, no obstante, concuerdan con otros estudios que no encontraron una mejor respuesta en la digestibilidad de los nutrientes en aves de mayor edad. Así, Khalil *et al.* (2021) encontraron valores bajos de EMA y menor digestibilidad de MS y N del trigo, sorgo, cebada y maíz en pollos de engorde de 6 semanas en comparación con valores en pollos de una semana. En forma similar, Szczurek *et al.* (2020) encontraron mayores coeficientes de digestibilidad de aminoácidos de trigo en pollos de 14 días en comparación con pollos de 27 días. En esta misma línea, Olukosi y Bedford (2019) mostraron una reducción en la digestibilidad de la grasa entre los 7 y 14 días de edad en pollos de engorde y Mossab *et al.* (2000) obtuvo valores de EMA decrecientes del sebo en pavos de 1 y 3 semanas.

La disminución de la digestibilidad de la PC de la quinua en pavos de 10 semanas puede atribuirse en parte al aumento de la producción de ácido úrico en las excretas y al aumento de la ingesta de alimento en dichos pavos, lo que promovió mayor excreción de nitrógeno (Wang *et al.*, 2021). La mayor digestibilidad total de PC en pavos de 5 semanas puede explicarse por el hecho de que los pavos de menor edad crecen más rápido y usan más nitrógeno para la deposición proteica (Wang *et al.* 2022).

La menor digestibilidad de EE de la quinua en los pavos de 10 semanas no concuerda con la aseveración de que la deposición de grasa aumenta con la edad (Sato *et al.*, 2009). Tampoco concuerda con Wang *et al.* (2022) quienes, en gallos adultos, determinaron mayor digestibilidad del EE que en los pollos de engorde. El pavo de engorde a mayor edad requiere alimentos con altas concentraciones de energía (Aviagen Turkeys, 2019), y asimila mejor la energía proveniente de los lípidos que la de los carbohidratos (Lázaro *et al.*, 2002). La quinua utilizada en el presente estudio contenía 5.82% de EE (Cuadro 1), lo cual no fue suficiente para cubrir la demanda energética del pavo; por el contrario, la inclusión de quinua en la dieta BFQ disminuyó el aporte de EE y EMA (Cuadro 3). Por otro lado, la retención de FC y ELN de la quinua fue mayor en pavos de más edad, lo cual reflejaría una posible mayor actividad y eficiencia de las enzimas amilolíticas y celulasas producidas a nivel del tracto digestivo distal del pavo de 10 semanas.

## CONCLUSIONES

El grano de quinua presenta mayor energía metabolizable aparente, digestibilidad de nutrientes y metabolicidad en pavos de 5 semanas que a las 10 semanas por lo que podría ser incluida con mayor eficiencia en dietas de iniciación del pavo de engorde.

## LITERATURA CITADA

1. **AOAC International. 2005.** Official methods of analysis. 18<sup>th</sup> ed. AOAC International, Washington, DC.
2. **Aviagen Turkeys. 2019.** Feeding recommendations for commercial stock. [Internet]. Available in: <https://www.aviagenturkeys.us/>
3. **Ball ME, Owens B, McCracken KJ. 2013.** Chemical and physical predictors of the nutritive value of wheat in broiler diets. *Asian Australas J Anim* 26: 97-107. doi: 10.5713/ajas.2012.12178
4. **Bhargava A, Shukla S, Ohri D. 2003.** Genetic variability and heritability of selected traits during different cuttings of vegetable *Chenopodium*. *Indian J Genet Plant Breed* 63: 359-360.
5. **Carlson D, Fernandez JA, Poulsen HD, Nielsen B, Jacobsen SE. 2012.** Effects of quinoa hull meal on piglet performance and intestinal epithelial physiology. *J Anim Physiol An N* 96: 198-205. doi: 10.1111/j.1439-0396.2011.01138.x
6. **Cerrate S, Ekmay R, England JA, Coon C. 2019.** Predicting nutrient digestibility and energy value for broilers. *Poultry Sci* 98: 3994-4007. doi: 10.3382/ps/pez142
7. **Francis G, Kerem Z, Makkar HP, Becker K. 2002.** The biological action of saponins in animal systems: a review. *Brit J Nutr* 88: 587-605. doi: 10.1079/BJN2002725
8. **Gómez L, Aguilar E 2016.** Guía de cultivo de la quinua. Lima, Perú: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO. 121 p.
9. **Improta F, Kellens R. 2001.** Comparison of raw, washed and polished quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) to wheat, sorghum or maize based diets on growth and survival of broiler chicks. *Livestock Res Rural Develop* 13(1). [Internet]. Disponible en: <http://www.lrrd.org/lrrd13/1/impr131.htm>

10. **Jacobsen EE, Skadhauge B, Jacobsen SE. 1997.** Effect of dietary inclusion of quinoa on broiler growth performance. *Anim Feed Sci Tech* 65: 5-14. doi: 10.1371/journal.pone.0276524
11. **Khalil MM, Abdollahi MR, Zaefarian F, Chrystal PV, Ravindran V. 2021.** Apparent metabolizable energy of cereal grains for broiler chickens is influenced by age. *Poultry Sci* 100: 101288. doi: 10.1016/j.psj.2021.101288
12. **Kiarie E, Romero LF, Ravindran V. 2014.** Growth performance, nutrient utilization, and digesta characteristics in broiler chickens fed corn or wheat diets without or with supplemental xylanase. *Poultry Sci* 93: 1186-1196. doi: 10.3382/ps.2013-03715
13. **Kubelková P, Jalc D, Homolka P, Cermák B. 2013.** Effect of dietary supplementation with treated amaranth seeds on fermentation parameters in an artificial rumen. *Czech J Anim Sci* 58: 159-166. doi: 10.17221/6710-CJAS
14. **Kuenz S, Thurner S, Hoffmann D, Kraft K, Wiltafsky-Martin M, Damme K, Windisch W, Brugger D. 2022.** Effects of gradual differences in trypsin inhibitor activity on the estimation of digestible amino acids in soybean expellers for broiler chickens. *Poultry Sci* 101:101740. doi: 10.1016/j.psj.2022.-101740
15. **Lázaro R, Mateos GG, Latorre MA. 2002.** Nutrición y alimentación de pavos de engorde. En: XVIII Curso de especialización FEDNA. Barcelona, España.
16. **Mateos GG, Cámara L, Fondevila G, Lázaro RP. 2019.** 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
17. **McDonald P, Edwards RA, Greenhalgh JFD, Morgan CA, Sinclair LA, Wilkinson RG. 2013.** *Animal nutrition*. 7<sup>th</sup> ed. Ed Pearson. 692 p.
18. **Mossab A, Hallouis JM, Lessire M. 2000.** Utilization of soybean oil and tallow in young turkeys compared with young chickens. *Poultry Sci* 79: 1326-1331. doi: 10.1093/ps/79.9.1326
19. **Nilsen B, Johnston NP, Stevens N, Robinson TF. 2015.** Degradation parameters of amaranth, barley and quinoa in alpacas fed grass hay. *J Anim Physiol An N* 99: 873-879. doi: 10.1111/jpn.12291
20. **Olukosi OA, Walker RL, Houdijk JG. 2019.** Evaluation of the nutritive value of legume alternatives to soybean meal for broiler chickens. *Poultry Sci* 98: 5778-5788. doi: 10.3382/ps/pez37
21. **Olukosi OA, Bedford MR. 2019.** Comparative effects of wheat varieties and xylanase supplementation on growth performance, nutrient utilization, net energy, and whole-body energy and nutrient partitioning in broilers at different ages. *Poultry Sci* 98: 2179-2188 doi: 10.3382/ps/pey582
22. **Peiretti PG, Gai F, Tassone S. 2013.** Fatty acid profile and nutritive value of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) seeds and plants at different growth stages. *Anim Feed Sci Technol* 183: 56-61. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2013.04.012
23. **Repo-Carrasco R, Espinoza C, Jacobsen SE. 2003.** Nutritional value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kaniwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Food Rev Int* 19: 179- 189. doi: 10.1081/FRI-120018884
24. **Santomá G, Mateos GG. 2018.** Necesidades nutricionales en avicultura. Normas FEDNA. 2<sup>a</sup> ed. 194 p.
25. **Sato K, Abe H, Kono T, Yamazaki M, Nakashima K, Kamada T, Akiba Y. 2009.** Changes in peroxisome proliferator-activated receptor gamma gene expression of chicken abdominal adipose tissue with different age, sex and genotype. *Anim Sci J* 80: 322-327. doi: 10.1111/j.1740-0929.2009.00639.x

26. **Szczurek W, Szymczyk B, Arczewska-W<sup>3</sup>osek A, Ćwi<sup>1</sup>tkiewicz S. 2020.** Apparent and standardised ileal digestibility of amino acids in wheat, triticale and barley for broiler chickens at two different ages. *Brit Poultry Sci* 61: 63-69. doi: 10.1080/00071668.-2019.1673317
27. **Tanchaenrat P, Ravindran V, Zaefarian F, Ravindran G. 2014.** Influence of age on the apparent metabolizable energy and total tract apparent fat digestibility of different fat sources for broiler chickens. *Anim Feed Sci Technol* 186: 186-192. doi: 10.1016/j.anifeedsci.-2013.10.013
28. **Wang Y, Wu Y, Mahmood T, Chen J, Yuan J. 2022.** Age-dependent response to fasting during assessment of metabolizable energy and total tract digestibility in chicken. *Poultry Sci* 101: 101932. doi: 10.1016/j.psj.2022.101932
29. **Wang Y, Wu Y, Chen J, Guo X, Yan L, Guo Y, Wang B, Yuan J. 2021.** The duration of food withdrawal affects the intestinal structure, nutrients absorption, and utilization in broiler chicken. *FASEB J* 35: e21178. doi: 10.1096/fj.202001773R
30. **Wu SB, Choct M, Pesti G. 2020.** Historical flaws in bioassays used to generate metabolizable energy values for poultry feed formulation: a critical review. *Poultry Sci* 99: 385-406 doi: 10.3382/ps/pez511
31. **Yang Z, Pirgozliev VR, Rose SP, Woods S, Yang HM, Wang ZY, Bedford MR. 2020.** Effect of age on the relationship between metabolizable energy and digestible energy for broiler chickens. *Poultry Sci* 99: 320-330. doi: 10.3382/ps/pez495