

Efectos de la semilla de linaza (*Linum usitatissimum* L) como reemplazante parcial de semilla y aceite de soya en dietas de pavo sobre el crecimiento, rendimiento de carcasa, parámetros hematológicos y metabolitos lipídicos

Effects of flaxseed (*Linum usitatissimum* L) as a partial replacement for soybean seed and oil in turkey diets on growth, carcass yield, hematological parameters and lipid metabolites

Manuel Paredes^{1,3}, Óscar Cóndor¹, Cristian Hobán², Pedro Ortiz²

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo determinar el efecto de linaza en la dieta de pavos de engorde sobre el crecimiento, rendimiento de carcasa, parámetros hematológicos y metabolitos lipídicos. Se utilizaron 160 pavos machos Hybrid Converter de 42 días de edad y peso corporal de 2.41 ± 0.13 kg distribuidos al azar en 4 tratamientos, cada uno con 4 repeticiones de 10 aves. Los pavos recibieron dietas con 0% (dieta control), 5, 10 y 15% de semilla de linaza cruda sin moler. Los pavos del tratamiento al 10%, en la fase de 43 a 91 días de edad, obtuvieron mayor ganancia de peso y mejor conversión alimenticia. El rendimiento de carcasa de pavo disminuyó con 15% de linaza en la dieta; sin embargo, la carcasa contenía menor cantidad de grasa abdominal en comparación con los tratamientos con 0, 5 y 10%. El tratamiento con 15% redujo el colesterol sérico y la de semilla de linaza en cualquier nivel (5, 10 y 15%) puede reducir los triglicéridos séricos.

Palabras clave: pavo, linaza, rendimiento productivo, parámetros hematológicos, metabolitos lipídicos

¹ Facultad de Ingeniería en Ciencias Pecuarias, Universidad Nacional de Cajamarca, Perú

² Laboratorio de Inmunología, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional de Cajamarca, Perú

³ E-mail: mparedes@unc.edu.pe

Recibido: 27 de junio de 2021

Aceptado para publicación: 8 de febrero de 2022

Publicado: 27 de abril de 2022

©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

ABSTRACT

The study aimed to determine the effect of flaxseed in the diet of fattening turkeys on growth, carcass performance, haematological parameters and lipid metabolites. In total, 160 male Hybrid Converter turkeys of 42 days of age and body weight of 2.41 ± 0.13 kg were randomly distributed in 4 treatments, each one with 4 repetitions of 10 birds. The turkeys received diets with 0% (control diet), 5, 10 and 15% raw flaxseed without grinding. Turkeys of the 10% treatment, in the phase from 43 to 91 days of age, obtained greater body weight gain and better feed conversion. Turkey carcass yield decreased with 15% flaxseed in the diet; however, the carcass contained less abdominal fat compared to the 0, 5 and 10% treatments. Treatment with 15% reduced serum cholesterol and flaxseed cholesterol at any level (5, 10, and 15%) can reduce serum triglycerides.

Key words: turkey, flaxseed, productive performance, hematological parameters, lipid metabolites

INTRODUCCIÓN

Perú importó en 2020 un total de 300 y 1350 mil toneladas de soya como grano entero y torta, respectivamente, de Estados Unidos, Bolivia, Argentina y Paraguay (Koo, 2021) para la fabricación de piensos, mayoritariamente para el sector avícola, destacando la producción de pollos parrilleros y gallinas ponedoras. Sin embargo, existen otras actividades avícolas como la producción de carne de pavo que se desarrolla a menor escala, de allí que esta industria procura diferenciar su producto asociándolo a una tecnología local, orgánica y saludable.

El grano de soya y sus coproductos con diversos procesamientos son ingredientes proteicos y lipídicos muy utilizados en nutrición de aves. Sin embargo, factores como percepciones de los consumidores con respecto a los alimentos genéticamente modificados y la preocupación por el medio ambiente están impulsando la búsqueda de alimentos alternativos para aves de corral (Olukosi *et al.*, 2019). En el país se produce alrededor de mil toneladas de semilla de linaza al año (Guerrero, 2018), que podría incrementarse para ser utilizado como ingrediente alimenticio del pavo y, al menos, redu-

cir la cantidad de semilla y aceite de soya en la dieta. La linaza se cultiva en la sierra peruana y su valor nutricional se ha informado en varios estudios (Mustafa *et al.*, 2019; Chavarr *et al.*, 2020).

La linaza es una semilla oleaginosa que contiene altos niveles de ácidos grasos polinsaturados omega-3 (PUFA n-3) en la forma de ácido α -linolénico (ALA) (Giacomino *et al.*, 2013). El ALA constituye aproximadamente 54.5% del total de ácidos grasos de la linaza y es un potente inhibidor de mediadores proinflamatorios (Panaite *et al.*, 2017). Se ha demostrado que se puede incrementar el contenido de ALA de la carne y huevos de aves con la inclusión de linaza en la dieta (Shin *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2017). Gallinas Babcock Brown y reproductoras Cobb 500 y enriquecieron la yema de huevo con ALA y se disminuyó la proporción n-6: n-3 de 14.1 a 2.1 con niveles de 13.5 y 18%, respectivamente, de semilla extruida de linaza respecto de dietas control (Aguillón-Páez *et al.*, 2020; Thanabalan *et al.*, 2020). Asimismo, el aceite de linaza en partes iguales con aceite de girasol en la dieta de pollos parrilleros incrementó el contenido de ALA en la pechuga (Ibrahim *et al.*, 2018). También la torta de linaza, que es la semilla prensada luego de la extracción de aceite,

incluida en la dieta de patos, disminuyó las concentraciones de colesterol total y triglicéridos séricos (Zhai *et al.*, 2019).

Por otro lado, la semilla de linaza contiene algunos factores antinutricionales como los glucósidos cianogénicos que se pueden liberar como ácido cianhídrico, tóxico sobre los sistemas respiratorio, nervioso y endocrino (Holstege *et al.*, 2010) con un efecto adverso en los parámetros productivos en pollos de engorde (Egena y Ocheme, 2008). Pekel *et al.* (2009) determinaron que la linaza en niveles de 10% disminuye el peso vivo y el rendimiento de carcasa del pollo en comparación con una dieta sin linaza, en tanto que Huo *et al.* (2019) encontraron que el peso relativo de la pechuga y algunos tipos de linfocitos del pollo de engorde disminuyeron con dietas conteniendo 5% de aceite de linaza. También se ha observado que afecta el crecimiento y conversión alimenticia al incorporar 10-20% de linaza molida en las dietas de los pollos de engorde (Alzueta *et al.*, 2003).

Si bien se ha demostrado que la linaza como ingrediente dietético de algunas aves, en forma de semilla entera, extruida o fermentada, o sus coproductos torta y aceite, mejoran la calidad de carne y huevos, se requiere estudiar los efectos de la semilla entera y cruda en la alimentación del pavo comercial. Por tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar niveles de inclusión de 0, 5, 10 y 15% de semilla de linaza en la dieta del pavo de engorde como reemplazante parcial de semilla molida y aceite de soya, mediante la determinación de parámetros de crecimiento y carcasa, valores hematológicos, colesterol y triglicéridos séricos en pavos híbridos de 6 a 13 semanas de edad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Aves, Dietas y Diseño Experimental

Se trabajó con 160 pavos de engorde machos de la línea Hybrid Converter de 42 días de edad y con peso promedio de $2.41 \pm$

0.13 kg. Las aves fueron criadas en la granja avícola experimental de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Pecuarias de la Universidad Nacional de Cajamarca (UNC), Perú, alojadas en un galpón dividido en 16 corrales, de una superficie de 8 m² cada uno, hasta los 91 días de edad. Los pavos fueron pesados al inicio del experimento.

La semilla de linaza fue adquirida de productores locales. No fue sometida a tratamiento alguno y se mezcló entera y cruda en niveles de 0, 5, 10 y 15% con el pienso. Las fases alimenticias consideradas en el presente experimento se determinaron de acuerdo con la guía nutricional sugerida por la empresa Hybrid Turkeys, proveedores de los pavos. Las fórmulas alimenticias de los piensos 1 y 2 y sus contenidos nutricionales estimados se presentan en el Cuadro 1. El pienso en forma de harina y agua de bebida fueron suministrados *ad libitum*. Los pavos fueron distribuidos en cuatro tratamientos con cuatro corrales por tratamiento, y se consideró cada corral como una unidad experimental o repetición. Cada corral o repetición contenía 10 aves.

Rendimiento Productivo

El peso corporal y la ingesta de alimento por corral fueron determinados en una balanza electrónica de plataforma TCS de 100 kg de capacidad y precisión de 10 g. Los datos se registraron semanalmente. Se calculó la ganancia de peso promedio y consumo de alimento por ave por cada fase alimenticia y durante todo el experimento. La conversión alimenticia fue determinada por la relación consumo de alimento/ganancia de peso.

Peso relativo de Carcasa, Grasa Abdominal y Órganos

A los 91 días de edad, dos pavos por corral fueron elegidos al azar, aturdidos eléctricamente y sacrificados previo ayuno de 8 h. La carcasa se pesó en la balanza indicada previamente. El corazón, hígado, molle-

Cuadro 1. Ingredientes y contenido nutricional de los piensos (base fresca) utilizados en el experimento, según los niveles de semilla de linaza

	Pienso 1 (43-70 días)				Pienso 2 (71-91 días)			
	0%	5%	10%	15%	0%	5%	10%	15%
Ingredientes, %								
Maíz amarillo	45.0	42.5	41.0	40.0	49.0	46.5	45	43
Polvillo de arroz	1.0	1.0	1.0	--	--	--	--	--
Torta de soya	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
Soya, semilla molida	20.0	18.0	15.0	12.5	20.0	18.0	15.0	12.0
Linaza, semilla entera	--	5.0	10.0	15.0	--	5.0	10.0	15.0
Harina de pescado	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Aceite de soya	4.5	4.0	3.5	3.0	6.0	5.5	5.0	4.9
Carbonato de calcio	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Fosfato monodivale	2.0	2.0	2.0	2.0	2.5	2.5	2.5	2.5
Cloruro de sodio	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
DL-Metionina	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
L-Lisina HCl	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4
Premezcla ¹	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Zinc bacitracina	0.05	0.05	0.05	0.05	--	--	--	--
Anticoccidial	0.05	0.05	0.05	0.05	--	--	--	--
Contenido nutricional								
Materia seca, %	89.05	89.11	89.13	89.13	89.99	89.05	89.07	89.15
Proteína cruda, %	23.02	23.19	23.08	23.06	20.18	20.35	20.23	20.17
Extracto etéreo, %	10.96	11.72	12.30	12.86	11.99	12.75	13.33	14.30
Fibra cruda, %	3.25	3.53	3.77	3.97	3.21	3.48	3.72	3.96
EM, Kcal/kg	3156	3142	3127	3116	3236	3221	3206	3210
Lisina, %	1.47	1.46	1.43	1.41	1.33	1.32	1.29	1.34
Metionina, %	0.57	0.58	0.58	0.58	0.50	0.50	0.50	0.50
Ca, %	1.29	1.30	1.31	1.32	1.15	1.16	1.16	1.17
P disponible, %	0.61	0.61	0.61	0.61	0.56	0.56	0.56	0.56
Na, %	0.22	0.22	0.22	0.23	0.18	0.18	0.18	0.18

¹Cada kilogramo contiene: Vit. A 10 000 mil UI, Vit. D3 3000 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 (Distribuidora Montana S.A., Perú)

Cuadro 2. Efectos de cuatro niveles de linaza (%) en la dieta sobre indicadores de crecimiento¹ en pavos de 43 a 91 días de edad

	0%	5%	10%	15%	SEM	p
Fase de 43 a 70 días						
Ganancia de peso, kg	4.16	4.01	4.55	4.15	0.12	0.143
Ingesta de alimento, kg	9.25 ^a	8.93 ^b	8.91 ^b	8.82 ^c	0.09	0.003
Conversión alimenticia	2.25 ^a	2.25 ^a	1.98 ^c	2.13 ^b	0.06	0.008
Fase de 71 a 91 días						
Ganancia de peso, kg	3.78 ^b	4.34 ^a	4.61 ^a	3.84 ^b	0.20	0.016
Ingesta de alimento, kg	12.06 ^b	12.71 ^a	11.74 ^c	12.06 ^c	0.20	0.006
Conversión alimenticia	3.20 ^a	2.93 ^b	2.55 ^c	3.13 ^a	0.15	0.001
Total (43 a 91 días)						
Ganancia de peso, kg	7.69 ^c	8.22 ^b	9.16 ^a	8.02 ^b	0.32	0.021
Ingesta de alimento, kg	21.30 ^b	21.62 ^a	20.66 ^d	20.91 ^c	0.21	0.005
Conversión alimenticia	2.77 ^a	2.63 ^b	2.25 ^c	2.61 ^b	0.11	0.003

¹ Cada valor representa la media de cuatro repeticiones por tratamiento. Cada repetición estuvo conformada por 10 pavos machos

SEM: Error estándar de la media

^{a,b,c,d} Las medias dentro de una fila que no comparten igual superíndice difieren significativamente ($p < 0.05$) para los efectos del tratamiento y para los efectos principales

ja y grasa abdominal se pesaron en balanza de precisión KERN de capacidad 2100 g y precisión de lectura 0.01 g. Se consideró como carcasa todo el cuerpo del animal desprovisto de plumas, incluyendo cabeza, cuello, alas, patas, así como hígado, corazón y molleja lavada, teniendo en cuenta el criterio comercial.

Los pesos relativos de carcasa, grasa abdominal y demás órganos fueron determinados con base al peso absoluto expresados con relación al peso vivo del ave (%). Así, el rendimiento de carcasa (RC) se determinó mediante la fórmula: $RC = (\text{peso de carcasa} / \text{peso vivo final}) \times 100$; la grasa abdominal = $(\text{peso de la grasa abdominal de la carcasa} / \text{peso vivo final}) \times 100$; la molleja = $(\text{peso molleja} / \text{peso vivo final}) \times 100$; y el hígado = $(\text{peso hígado} / \text{peso vivo final}) \times 100$.

Parámetros Hematológicos

El análisis hematológico se realizó en el Laboratorio de Inmunología Veterinaria de la UNC. El último día de evaluación experimental se seleccionó un pavo por cada corral (cuatro pavos por tratamiento). La sangre se colectó mediante venopunción de la vena braquial en tubos Vacutainer de 5 ml que contenían EDTA. El número de glóbulos rojos ($10^3/\mu\text{l}$), la concentración de hemoglobina (g/dl) y el porcentaje de linfocitos se determinó en el analizador de hematología laser Hemavet 950.

Pruebas Séricas

A los 91 días de edad se asignaron cuatro pavos por tratamiento para las pruebas-

séricas a partir de los ocho pavos a sacrificar por tratamiento para mediciones de carcasa. Se tomaron muestras de sangre de la arteria carótida y vena yugular (10 ml/ave). El suero fue obtenido por centrifugación (3000 rpm durante 10 min) y almacenado a -20 °C. La concentración de triglicéridos y colesterol total se determinó mediante kits de reactivos (Wako Pure Chemical Industries, Japón), siguiendo las instrucciones del fabricante, cuyo procedimiento implica la hidrólisis enzimática por lipasa de los triglicéridos a glicerol y ácidos grasos libres. La concentración de colesterol total se determinó mediante ensayo enzimático acoplado.

Análisis Estadístico

Los datos del experimento se sometieron a análisis de varianza bajo un diseño completamente al azar mediante el procedimiento GLM del System Analysis Statistic (SAS, 2003). Al detectarse un efecto significativo, las diferencias entre tratamientos se analizaron por prueba de rango múltiple de Duncan.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento Productivo

La ganancia de peso en la fase alimenticia de 43 a 70 días no se vio influenciada por los tratamientos dietéticos, mientras que la ingesta de alimento fue mayor en el tratamiento 0% en la fase de 43 a 70 días y en el tratamiento 5% en la fase de 71 a 91 días y durante todo el experimento ($p < 0.05$). Asimismo, la mejor conversión alimenticia por fases y durante todo el experimento se observó en el tratamiento con 10% de linaza (Cuadro 2).

Las dietas conteniendo 5 y 10% de linaza produjeron una mejor ganancia de peso que las dietas control y con 15% de linaza en la fase de crecimiento (43 a 70 días); sin embargo, el tratamiento con 10% de semilla

de linaza superó a los demás tratamientos al evaluar el resultado global del experimento (43 a 91 días). Asimismo, los tratamientos 5 y 15% presentaron una mayor ganancia de peso global que el grupo control, resultados que concuerdan con Ferket *et al.* (2020) en pavos Hybrid a las 12 semanas de edad con aceites funcionales en dietas a base de maíz y soya.

El consumo de alimento, de manera general, fue mayor a medida que los niveles de semilla de linaza fueron más altos (10 y 15%). Similar tendencia fue reportada por Drazbo *et al.* (2019) al reemplazar en la dieta de pavos de engorde torta de soya por torta de semilla de colza, con un ligero incremento de la fibra dietética. En el presente estudio, las ligeras diferencias en contenido de fibra cruda de las dietas (mayor contenido de fibra en las dietas con mayor cantidad de semilla de linaza) produjeron cambios en el comportamiento de ingesta.

La conversión alimenticia por fases y global fue mejor en el tratamiento con 10% de linaza. La semilla de linaza contiene aceite rico en PUFA n-3, principalmente ALA, el cual podría mejorar la eficiencia alimenticia de pavos de engorde (Huo *et al.*, 2019). No obstante, Ghazalah *et al.* (2008) evaluaron varios ingredientes oleaginosos sin encontrar efectos benéficos en términos de ganancia de peso y eficiencia alimenticia.

Carcasa

El Cuadro 3 resume los efectos de los niveles de linaza dietética sobre el rendimiento de carcasa y en los pesos relativos de corazón, hígado, molleja y grasa abdominal al momento del beneficio. Los pavos alimentados con la dieta control (0%) presentaron el mejor rendimiento de carcasa y el peso relativo de hígado ($p < 0.05$). De otra parte, los pavos con la dieta de 15% de semilla de linaza presentaron el menor peso de hígado y de grasa abdominal ($p < 0.05$), aunque la molleja fue más pesada que en otros tratamientos.

Cuadro 3. Efectos de cuatro niveles de linaza en la dieta sobre rendimiento de carcasa (RC), y pesos relativos de corazón, hígado, molleja y grasa abdominal de pavos de 91 días de edad¹

Tratamientos (porcentaje de semilla de linaza)	RC (%)	Corazón (%)	Hígado (%)	Molleja (%)	Grasa abdominal (%)
0	86.74 ^a	0.36	1.77 ^a	1.59 ^b	1.10 ^a
5	85.46 ^b	0.32	1.15 ^b	1.61 ^b	1.08 ^a
10	84.14 ^c	0.35	1.18 ^b	1.67 ^b	1.05 ^b
15	84.52 ^c	0.35	1.04 ^c	1.80 ^a	1.00 ^c
SEM	0.58	0.01	0.17	0.09	0.02
p	<0.001	0.083	<0.001	0.003	0.006

¹ Cada valor representa la media de cuatro repeticiones. Cada repetición estuvo conformada por dos pavos machos

SEM: Error estándar de la media

^{a,b,c,d} Las medias dentro de una columna que no comparten igual superíndice difieren significativamente ($p < 0.05$)

RC = (Peso de carcasa/Peso vivo final) x 100; Corazón (%) = (Peso corazón/Peso vivo final) x 100; Hígado (%) = (Peso hígado/Peso vivo final) x 100; Molleja (%) = (Peso molleja/Peso vivo final) x 100; Grasa abdominal (%) = (Peso de la grasa abdominal de la carcasa/Peso vivo final) x 100

Los resultados de rendimiento de carcasa contrastan con los de Ibrahim *et al.* (2018), quienes demostraron que la inclusión de aceite de linaza en la dieta de pollos de engorde mejoró el peso de la carne en comparación con el grupo control; diferencias que podrían ser debidas al contenido de compuestos fibrosos de la semilla, toda vez que en presente estudio las dietas control en el pienso 1 y pienso 2 contenían 3.25 y 3.21% de fibra cruda, mientras que las dietas con 15% de linaza tenían 3.97 y 3.96% (Cuadro 1). Por otro lado, la reducción de la grasa abdominal fue más notoria en los grupos con mayor contenido de linaza (15%), seguido del tratamiento con 10% en la dieta, en comparación con los grupos 5% y control (0%).

Es conocido que los ácidos grasos omega-3 están implicados en la supresión de genes lipogénicos en el hígado (Kaur y Sinclair, 2010), lo que explicaría el menor peso del hígado en los tratamientos con semilla de lina-

za y a medida que se añade más linaza a la dieta. El aceite de linaza contiene 54% de ALA y el de soya 7.3% (de Blas *et al.*, 2019), lo cual genera amplias diferencias en el perfil lipídico de las dietas que contienen semilla de linaza y semilla de soya. Además, Ferrini *et al.* (2010) mostraron que el aceite de linaza reduce la deposición de grasa abdominal al promover la β -oxidación de ácidos grasos, aunque no suprime la biosíntesis de ácidos grasos. Asimismo, Chen *et al.* (2012) encontraron que la dieta enriquecida con PUFA n-3 mejoró la expresión del gen Lipin-1 que evita formación de grasa abdominal.

Parámetros Sanguíneos

No se encontraron diferencias significativas en los valores de células sanguíneas ($p > 0.05$) por efecto de los niveles de inclusión de semilla de linaza, pero hubo diferencias significativas en los metabolitos lipídicos por efecto de la semilla de linaza dietética (Cuadro 4).

Cuadro 4. Efecto de cuatro niveles de linaza en la dieta sobre hemoglobina, eritrocitos, linfocitos y colesterol total y triglicéridos séricos de pavos de 91 días de edad¹

Tratamientos (porcentaje de semilla de linaza)	Hemoglobina (g/dl)	Eritrocitos (10 ³ /μl)	Linfocitos (%)	Colesterol total (mg/dl)	Triglicéridos (mg/dl)
0	15.38	3334	30.29	83.88 ^a	79.26 ^a
5	15.13	3326	30.41	83.19 ^b	72.41 ^b
10	14.96	3303	30.22	83.05 ^b	68.41 ^b
15	14.86	3297	29.59	82.69 ^c	67.33 ^b
SEM	0.11	8.74	0.18	0.17	2.70
p	0.519	0.597	0.096	0.074	0.003

¹ Cada valor representa la media de cuatro repeticiones. Cada repetición estuvo conformada por un pavo macho

SEM: Error estándar de la media

^{a,b,c,d} Las medias dentro de una columna que no comparten igual superíndice difieren significativamente ($p < 0.05$)

Se determinaron algunos valores hematológicos en el presente estudio al existir información sobre una prominente interacción entre ácidos grasos, eritrocitos y hemoglobina. Los eritrocitos en su membrana plasmática contienen 46.41% ácidos saturados, 28.22% ácido oleico, 11.7% ácido linoleico, 0.22% ácido araquidónico, 20.08% PUFA total y hemoglobina que previene la oxidación lipídica a ese nivel (Pérez *et al.*, 2019). Sin embargo, en el presente estudio no se encontró un efecto significativo por los niveles de semilla de linaza sobre los valores de hemoglobina y eritrocitos, lo cual podría tener mayor importancia en la fase posterior al sacrificio por la hemólisis que se produce y consecuente oxidación lipídica a nivel muscular (Kopeck *et al.*, 2016).

Con relación a los linfocitos, se debe considerar que los ácidos grasos regulan tanto respuestas inmunes adaptativas como innatas, la adición de PUFA n-3 o n-6 puede modular la función inmune al disminuir la activación de los linfocitos T sanguíneos (Jang *et al.*, 2014; Huo *et al.*, 2019). No obstante, en el presente estudio no se encontraron di-

ferencias significativas entre los porcentajes de linfocitos por efecto de la inclusión dietética de semilla de linaza, rica en PUFA n-3.

Por otro lado, se encontró que el aumento de los niveles de semilla de linaza dietética fue acompañado por disminución del colesterol total y concentración de triglicéridos en suero, posiblemente por el aumento del nivel de PUFA n-3 en la dieta. Estos resultados concuerdan con Mendoza-Ordoñez *et al.* (2020), quienes encontraron que el aceite esencial de orégano disminuyó los triglicéridos en suero de pavos de engorde, mas no el colesterol total. En cambio, Ibrahim *et al.* (2018) y Saleh *et al.* (2009) encontraron que el aumento de ácidos grasos omega-3 en la dieta de pollos de engorde redujo los triglicéridos y el colesterol en plasma, en tanto que Zhai *et al.* (2019) determinaron menores concentraciones séricas de colesterol y triglicéridos en patos con dietas que incluyeron torta de semilla de linaza fermentada y sin fermentar con relación a las dietas a base de torta de soya. Este efecto en el presente estudio pudo haber sido causado por la lipogénesis *de novo* antes que por biosíntesis

de colesterol (Lee *et al.*, 2003) o por la acción de los ácidos grasos omega-3 en la supresión de síntesis de triglicéridos y apolipoproteínas B, mayor eliminación de lipoproteínas de muy baja densidad por tejidos periféricos del hígado y mayor excreción de bilis a través de las heces (Ibrahim *et al.*, 2018).

CONCLUSIONES

- La inclusión de 10% de semilla entera de linaza sin tratamiento térmico en la dieta del pavo de engorde de 43 a 91 días de edad produce mayor ganancia de peso y mejor conversión alimenticia que dietas con de 0, 5 y 15%.
- El rendimiento de carcasa disminuye con la inclusión de 15% de linaza en la dieta del pavo; sin embargo, la carcasa tiene menor acumulación de grasa abdominal en relación con los niveles de semillas de linaza de 0, 5 y 10%.
- El tratamiento con 15% de linaza en la dieta reduce el colesterol sérico del pavo de engorde y la inclusión de semilla de linaza en cualquier nivel (5 a 15%) puede reducir triglicéridos séricos en el pavo.

LITERATURA CITADA

1. **Aguillón-Páez Y, Romero LA, Díaz GJ. 2020.** Effect of full-fat sunflower or flaxseed seeds dietary inclusion on performance, egg yolk fatty acid profile and egg quality in laying hens. *Anim Nutr* 6: 179-184. doi: 10.1016/j.aninu.2019.12.005
2. **Alzqueta C, Rodríguez ML, Cutuli MT, Rebolé A, Ortiz LT, Centeno C, Treviño J. 2003.** Effect of whole and demucilaged linseed in broiler chicken diets on digesta viscosity, nutrient utilisation and intestinal microflora. *Brit Poultry Sci* 44: 67-74. doi: 10.1080/0007166031000085337
3. **Chavarr E, Mawof A, Mantilla J, Mantilla JC, Paredes M, Mustafa A. 2020.** Feeding flaxseed to guinea pigs (*Cavia porcellus*) under northern Peruvian condition: II. Effects on performance and apparent total tract nutrient digestibility. *EC Vet Sci* 5.8: 147-154.
4. **Chen W, Wang JP, Huang YQ. 2012.** Effects of dietary n-6: n-3 polyunsaturated fatty acid ratio on cardiac antioxidative status, T-cell and cytokine mRNA expression in the thymus, and blood T lymphocyte subsets of broilers. *Livest Sci* 150: 114-120. doi: 10.1016/j.livsci.2012.08.008.
5. **de Blas C, García-Rebollar P, Gorrachategui M, Mateos GG. 2019.** Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos. 4º ed. Madrid, España: Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. 604 p.
6. **Drazbo A, Kozłowski K, Ognik K, Zaworska A, Jankowski J. 2019.** The effect of raw and fermented rapeseed cake on growth performance, carcass traits, and breast meat quality in turkey. *Poultry Sci* 98: 6161-6169. doi: 10.3382/ps/pez322
7. **Egena SSA, Ocheme OB. 2008.** Effect of hydrocyanic acid intake on sensory properties of broiler meat. *Pak J Nutr* 7: 191-193. doi: 10.3923/pjn.2008.191.193
8. **Ferket PR, Malheiros RD, Moraes VMB, Ayoola AA, Barasch I, Toomerz OT, Torrent J. 2020.** Effects of functional oils on the growth, carcass and meat characteristics, and intestinal morphology of commercial turkey toms. *J Poult Sci* 99: 3752-3760. doi: 10.1016/j.psj.2020.03.050
9. **Ferrini G, Manzanilla EG, Menoyo D, Esteve-Garcia E, Baucells MD, Barroeta AC. 2010.** Effects of dietary n-3 fatty acids in fat metabolism and thyroid hormone levels when compared to dietary saturated fatty acids in chickens. *Livest Sci* 131: 287-291. doi: 10.1016/j.livsci.2010.03.017

10. **Ghazalah AA, Abd-Elsamee MO, Ali AM. 2008.** Influence of dietary energy and poultry fat on the response of broiler chicks to heat therm. *Int J Poult Sci* 7: 355-359. doi: 10.3923/ijps.2008.355.359
11. **Giacomino S, Peñas E, Ferreyra V, Pellegrino N, Fournier M, Carrión MO, Frias J. 2013.** Extruded flaxseed meal enhances the nutritional quality of cereal-based products. *Plant Food Hum Nutr* 68:131-136. doi: 10.1007/s11130-013-0359-8
12. **Guerrero T. 2018.** Efecto del mucílago y harina de *Linum usitatissimum* «linaza» en las propiedades sensoriales de galletas y su impacto en el tiempo. Tesis de Ingeniero Alimentario. Lima, Perú: Univ. Nacional Federico Villareal. 254 p.
13. **Holstege CP, Forrester JD, Borek HA, Lawrence DT. 2010.** A case of cyanide poisoning and the use of arterial blood gas analysis to direct therapy. *Hosp Pract* 38: 69-74. doi: 10.3810/hp.2010.-11.342
14. **Huo W, Li M, Wang J, Wang Z, Huang Y, Chen W. 2019.** Effects of dietary lipid sources on growth performance, nutrient digestibility, blood T lymphocyte subsets, and cardiac antioxidant status of broilers. *Anim Nutr* 5: 68-73. doi: 10.1016/j.aninu.2018.-04.004
15. **Ibrahim D, El-Sayed R, Khater SI, Said EN, El-Mandrawy SAM. 2018.** Changing dietary n-6: n-3 ratio using different oil sources affects performance, behavior, cytokines mRNA expression and meat fatty acid profile of broiler chickens. *Anim Nutr* 4: 44-51. doi: 10.1016/j.aninu.2017.08.003
16. **Jang HY, Lim K, Lee SM, Park BH. 2014.** Effects of n-3 PUFA on the CD4⁺ type 2 helper T-cell-mediated immune responses in Fat-1 mice. *Mol Nutr Food Res* 58: 365-375. doi: 10.1002/mnfr.201300194
17. **Kaur G, Sinclair AJ. 2010.** Regulation of gene expression in brain and liver by marine n-3 polyunsaturated fatty acids. *Prog Nutr* 12: 24-28.
18. **Koo W. 2021.** Soya grano. Perú Importación 2020. Agrodata Perú. [Internet]. Disponible en: <https://www.agrodata-peru.com/2021/02/soya-grano-peru-importacion-2020-diciembre.html>.
19. **Kopec W, Wiliczekiewicz A, Jamroz D, Biazik E, Pudlo A, Hikawczuk T, Skiba T, et al. 2016.** Antioxidant status of turkey breast meat and blood after feeding a diet enriched with histidine. *Poultry Sci* 95: 53-61. doi: 10.3382/ps/pev311
20. **Lee KW, Everts H, Kappert HJ, Yeom KH, Beynem AC. 2003.** Dietary carvacrol lowers body weight gain but improves feed conversion in female broiler chickens. *J Appl Poultry Res* 12: 394-399. doi: 10.1093/japr/12.4.394
21. **Mendoza-Ordoñez G, Caceda-Gallardo L, Loyaga-Cortéz B, Ybañez-Julca R, Gonzales-Nonato D, Asunción-Alvarez D. 2020.** Oregano essential oil supplementation improves productive performance, oxidative stability, and lipid parameters in turkeys. *Sci Agropecu* 11: 187-193.
22. **Mustafa A, Chavarr E, Mantilla J, Mantilla JC, Paredes M. 2019.** Effects of feeding flaxseed on performance, carcass trait, and meat fatty acid composition of guinea pigs (*Cavia porcellus*) under northern Peruvian condition. *Trop Anim Health Pro* 51: 2611-2617. doi: 10.1007/s11250-019-01977-0
23. **Olukosi OA, Walker RL, Houdijk JGM. 2019.** Evaluation of the nutritive value of legume alternatives to soybean meal for broiler chickens. *J Poult Sci* 98: 5778-5788. doi: 10.3382/ps/pez374
24. **Panaite T, Ropota M, Turcu R, Olteanu M, Corbu AR, Nour V. 2017.** Flaxseeds: nutritional potential and bioactive compounds. *Food Sci Technol Bull* 74: 65-73.
25. **Pekel AY, Patterson PH, Hulet RM, Acar N, Cravener TL, Dowler DB, Hunter JM. 2009.** Dietary camelina meal versus flaxseed with and without supplemental copper for broiler chickens:

- live performance and processing yield. *J Poult Sci* 88: 2392-2398. doi: 10.3382/ps.2009-00051
26. **Perez DM, Tatiyaborworntam N, Sifri M, Richards MP. 2019.** Hemolysis, tocopherol, and lipid oxidation in erythrocytes and muscle tissue in chickens, ducks, and turkeys. *Poultry Sci* 98: 456-463. doi: 10.3382/ps/pey329
27. **Saleh H, Rahimi S, Karimi Torshizi MA. 2009.** The effect of a diet that contained fish oil on performance, serum parameters, the immune system and the fatty acid composition of meat in broilers. *Int J Vet Res* 3: 69-75.
28. **Shin D, Narciso-Gaytán C, Park JH, Smith SB, Sánchez-Plata MX, Ruiz-Feria CA. 2011.** Dietary combination effects of conjugated linoleic acid and flaxseed or fish oil on the concentration of linoleic and arachidonic acid in poultry meat. *J Poult Sci* 90: 1340-1347. doi: 10.3382/ps.2010-01167
29. **Thanabalan A, Moats J, Kiarie EG. 2020.** Effects of feeding broiler breeder hens a coextruded full-fat flaxseed and pulses mixture without or with multienzyme supplement. *Poultry Sci* 99: 2616-2623. doi: 10.1016/j.psj.2019.12.062
30. **Wang J, Yue H, Wu S, Zhang H, Qi G. 2017.** Nutritional modulation of health, egg quality and environmental pollution of the layers. *Anim Nutr* 3: 91-96. doi: 10.1016/j.aninu.2017.03.001
31. **Zhai SS, Zhou T, Li MM, Zhu YW, Li MC, Feng PS, Zhang XF, Ye H, Wang WC, Yang L. 2019.** Fermentation of flaxseed cake increases its nutritional value and utilization in ducklings. *J Poult Sci* 98: 5636-5647. doi: 10.3382/ps/pez326