

Contenido de grasa y perfil lipídico sanguíneo en cuyes alimentados con ácidos grasos omega-3 de aceite de pescado y semillas de sacha inchi (*Plukenetia volubilis*)

Fat content and blood lipid profile in guinea pigs fed with omega-3 fatty acids from fish oil and sacha inchi seeds (*plukenetia volubilis*)

Jorge Ernesto Guevara-Vásquez^{1*}, Víctor Hidalgo-Lozano², Gloria Vásquez-Sánchez³

¹Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial. Lima, Perú.

²Universidad Nacional Agraria La Molina, Departamento Académico de Nutrición. Facultad de Zootecnia. Lima, Perú.

³Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Facultad de Medicina Veterinaria. Lambayeque, Perú.

*Autor Correspondencia : jguevarav@unmsm.edu.pe

RESUMEN

El objetivo del estudio fue determinar el contenido de grasa y perfil lipídico sanguíneo en cuyes alimentados con ácidos grasos omega -3 de aceite de pescado y semilla de sacha inchi (*Plukenetia volubilis*). Se utilizaron 48 cuyes machos, con peso promedio de 300 gramos, asignados al azar a cuatro tratamientos con 3 repeticiones de 4 cuyes cada uno. Los tratamientos fueron: 1) Dieta control, 2) Dieta con 1,0 % aceite de pescado, 3) Dieta con 4,0 % semilla de sacha inchi y 4) Dieta con 1,0 % aceite de pescado + 4,0 % semilla de sacha inchi. Los cuyes que recibieron la dieta control tuvieron una concentración de triglicéridos de 97 mg/dL, la dieta con 1 % de aceite de pescado 85,5 mg/dL (P > 0,05); mientras que en la dieta con 4 % semilla de sacha inchi se observa un aumento numérico a 93,5 mg/dL de triglicéridos (P > 0,05), en la dieta con semilla de sacha inchi + aceite de pescado una tendencia en disminución a 76,5 mg/dL (P > 0,05). En Colesterol Total los cuyes que recibieron la Dieta control mostraron una concentración de 63 mg/dL, la dieta sólo aceite de pescado 57,5 mg/dL (P > 0,05) y la dieta con 4 % semilla de sacha inchi 66 mg/dL (P > 0,05); sin embargo, la combinación de semilla de sacha inchi + aceite de pescado mantuvo la concentración de Colesterol Total en 59 mg/dL. No se encontró efecto de la dieta sobre la concentración de lipoproteínas de alta densidad, porque los valores obtenidos estuvieron entre 18 y 20 mg/dL. Se destaca el rol fisiológico de la combinación de semilla de sacha inchi con aceite de pescado en la reducción numérica (P > 0,05) de triglicéridos y Colesterol Total respecto a la Dieta control. Se concluye que la combinación de semilla de sacha inchi con aceite de pescado mostró tendencia hacia menores niveles de triglicéridos en la sangre de cuy y con solo aceite de pescado presentó valores inferiores de Colesterol Total y lipoproteínas de baja densidad. Así mismo, la dieta con semilla de sacha inchi evidenció menores cantidades de grasa total, ácidos grasos saturados y ácidos grasos monoinsaturados en la carcasa de cuy respecto a los otros tratamientos, sin evidenciar diferencias estadísticas significativas.

Palabras clave: Nutrición animal; metabolismo; aceite vegetal; recursos alimentarios.

ABSTRACT

The objective of study was to determine the fat content and blood lipid profile in guinea pigs fed with omega-3 fatty acids from fish oil and sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) seed. Forty-eight male guinea pigs, with an average initial weight of 300 grams, were randomly assigned to four treatments with three replicates (ponds) with four guinea pigs each. The treatments were: 1) Control diet, 2) Diet with 1.0 % fish oil, 3) Diet with 4.0 % sacha inchi seed and 4) Diet with 1.0 % fish oil + 4.0 % sacha inchi seed. Guinea pigs receiving the control diet had a triglyceride concentration of 97 mg/dL, the diet with 1 % fish oil had 85.5 mg/dL (P > 0.05); while the diet with 4 % sacha inchi seed showed a numerical increased to 93.5 mg/dL of triglyceride (P > 0.05), the diet with sacha inchi seed + fish oil showed a decreasing trend to 76.5 mg/dL (P > 0.05). In Total Cholesterol the guinea pigs that received the Control diet showed a concentration of 63 mg/dL, the diet only fish oil had a concentration of 57.5 mg/dL and the diet with 4 % sacha inchi seed had a concentration of 66 mg/dL (P > 0.05); however, with the combination of sacha inchi seed + fish oil the Total Cholesterol concentration was maintained at 59 mg/dL. No effect of the diet on high-density lipoproteins concentration was found, because the values obtained were between 18 and 20 mg/dL. The physiological role of the combination of sacha inchi seed with fish oil in numerically reducing triglyceride and Total Cholesterol with respect to Control diet is highlighted. It is concluded that the combination of sacha inchi seed with fish oil showed a trend towards lower triglyceride levels in the blood of guinea pigs and fish oil showed lower Total Cholesterol and low-density lipoproteins. The diet with sacha inchi seed showed lower amounts of total fat, saturated fatty acid and monounsaturated fatty acid in the guinea pig carcass with respect to the other treatments, although these differences were not statistically significant.

Key words: Animal nutrition; metabolism; vegetable oil; food resources.

INTRODUCCIÓN

Los animales dentro de un sistema de producción están expuestos a diversos factores externos, como el estrés ambiental, tipo de alimentación y prácticas de manejo, los cuales pueden alterar la homeostasis metabólica y repercutir negativamente en la salud y rendimiento productivo, mantener un equilibrio fisiológico adecuado, especialmente bajos situaciones de estrés [1]. Tras la digestión de los alimentos, la sangre desempeña una función indispensable en el transporte de nutrientes hacia los diversos tejidos y posterior metabolismo, participando esencialmente en el mantenimiento del equilibrio electrolítico y del sistema inmunológico del animal [2]; por tal motivo, la evaluación constante es indispensable para conocer el estado fisiológico de un individuo, ya que los parámetros metabólicos e inmunológicos reflejados en la sangre permiten interpretar su capacidad de adaptación, salud y desempeño productivo [1, 2].

Existen varios análisis sanguíneos entre ellos las pruebas bioquímicas para determinar los parámetros bioquímicos como el colesterol total (CT), triglicéridos (TG), glucosa, ácido úrico, entre otros, los cuales es indicativo del buen o mal funcionamiento de diversos órganos de un animal [3]. Los parámetros hematológicos nos permiten conocer la capacidad de la especie y grupos raciales en la adaptación a diversos entornos ambientales, el estado nutricional y alteraciones a nivel clínico [4].

Una importante fuente de reserva energética se considera a los lípidos, por diversas funciones que desempeñan como protección a las bajas temperaturas, formación de hormonas, metabolitos, entre otros [5]; éstos son transportados en plasma por lipoproteínas, las cuales se clasifican según su densidad en categorías: quilomicrones que se encargan de conducir a los TG exógenos; lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL) de conducir hacia el tejido adiposo a TG recién sintetizados; lipoproteínas de baja densidad (LDL) de distribuir los fosfolípidos, el colesterol y TG en el organismo; mientras que las lipoproteínas de alta densidad (HDL) recogen colesterol de diversas partes del organismo y lo llevan al hígado; y las partículas de densidad intermedia (IDL) conducen colesterol y TG en los tejidos en general [6].

En los mamíferos, es habitual observar que las LDL se encarga del transporte directo del colesterol y las HDL realizan el transporte inverso del colesterol en diferentes concentraciones dependiendo de la especie animal, sin que el sexo sea un factor determinante. Este fenómeno se denomina patrón metabólico de los lípidos [7].

Al respecto, el consumo de ácidos grasos saturados (AGS) se relaciona positivamente con el colesterol elevado y resistencia a la insulina [8], mientras que el bajo nivel de TG reportado en animales alimentados con aceites podría deberse a la composición de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI), estos lípidos incentivan un incremento en la liberación de ácidos grasos (AG) de cadena media en sangre, lo cual incrementa sus valores sanguíneos; esto indica que el tipo de AG consumido causa un efecto en los lípidos plasmáticos [9].

El contenido de AGPI y monoinsaturados (AGMI) del Aceite de Pescado (AP) lograron reducir la cantidad de colesterol sanguíneo

en animales, lo cual estaría relacionado con su alto contenido de AGPI, con evidencias en la reducción del CT y LDL-C en sangre, como mencionan Huang *et al.* [10] que los AGPI omega-3, ácido docosahexaenoico (DHA) y ácido eicosapentaenoico (EPA) de la dieta ejercen numerosos efectos beneficiosos para mantener la homeostasis fisiológica, observados en estudios experimentales con humanos y animales; coincidiendo con investigadores como Ibrahim *et al.* [11], quienes mencionan que AGPI logran reducir CT sanguíneo debido a los AG presentes en la dieta.

La demanda de alimentos funcionales ha promovido el uso de fuentes ricas en ácidos grasos omega-3 en la alimentación de cuyes (*Cavia porcellus*). En este contexto, el aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) (ASI), por su alto contenido de ácido α -linolénico (ALA), ha demostrado capacidad para mejorar el metabolismo lipídico, reduciendo la acumulación de grasa y favoreciendo un perfil lipídico más saludable. Estos efectos respaldan su uso como estrategia nutricional para incrementar el valor funcional de la carne [12]. La suplementación dietética con fuentes lipídicas es la estrategia más efectiva para lograr este enriquecimiento, destacando dos fuentes principales: los aceites de origen marino y los aceites vegetales andinos, lo que permite incrementar la proporción de estos compuestos en el tejido muscular y mejorar el valor nutricional de la carne [13].

El aceite de pescado y sus derivados, como el ensilado de trucha (*Oncorhynchus mykiss*), son fuentes directas de EPA y DHA. Investigaciones recientes, como la de Arista *et al.* [14], han demostrado que al incluir estas fuentes en el alimento de cuyes no solo mejora los parámetros productivos, sino que transforma significativamente el perfil de AG de la carcasa, elevando la deposición de EPA y DHA, metabolitos clave para la función antiinflamatoria y neurológica.

El aceite de sacha inchi representa la fuente vegetal más rica en ALA. Estudios en modelos animales indican que, aunque su conversión a derivados de cadena larga es limitada por barreras enzimáticas, su consumo tiene un potente efecto hipolipemiante [15].

A nivel metabólico sanguíneo, ambas fuentes lipídicas ejercen efectos beneficiosos sobre el perfil lipídico. Se ha evidenciado que tanto el ASI actúan activando factores de transcripción como el Receptor Activado por Proliferadores de Peroxisomas α (PPAR- α) e inhibiendo Proteína de Unión al Elemento Regulador de Esteroles-1c (SREBP-1c), lo que resulta en una disminución significativa de los triglicéridos plasmáticos y del colesterol LDL, mitigando el riesgo de dislipidemia en los animales suplementados [16]. Por tanto, comparar el efecto de estas dos fuentes resultó crucial para establecer estrategias nutricionales que optimicen tanto la salud del animal como la calidad nutracéutica de la carne destinada a consumo humano [13].

Tanto los AP (ricos en EPA y DHA) como el ASI (rico en ALA, precursor de EPA/DHA) comparten mecanismos moleculares similares que resultan en la disminución de TG y VLDL. Ambos promueven la beta-oxidación de AG y suprimen la lipogénesis hepática *de novo* [16].

Estudios recientes confirman que la suplementación con estos aceites modula la expresión génica hepática de dos maneras principales: Activando PPAR- α , aumentan la actividad

del PPAR- α , factor que induce el catabolismo y oxidación de las grasas [15, 16] y mediante Supresión de SREBP-1c, reducen la expresión de la SREBP-1c; lo que disminuye la síntesis de nuevos TG y consecuentemente, la producción de VLDL [16].

Adicionalmente, se ha observado que los omega-3 regulan la actividad de la lipasa lipoproteica (LPL) en tejidos periféricos, acelerando la hidrólisis y eliminación de los TG circulantes (quilomicrones y VLDL) [15].

Al respecto, los valores hematológicos que incluyen el perfil lipídico son también indispensables para llegar a un diagnóstico seguro, como lo indican Oriundo *et al.* [17], que estos valores varían según la alimentación, el sexo y la edad, y conociendo estos factores se podrá realizar un mejor diagnóstico. Así se tiene que la dislipidemia es un problema de salud que está caracterizado principalmente por triglicéridos elevados, bajo colesterol HDL, alto colesterol LDL, siendo un componente principal del síndrome metabólico, problema de salud pública, que es frecuente y en crecimiento en todo el mundo [18].

El objetivo fue determinar el contenido de grasa y perfil lipídico sanguíneo en cuyes alimentados con AG omega-3 de AP y de semilla de sachá inchi (SSI).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se desarrolló en las instalaciones de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Se emplearon 48 cuyes machos raza Perú, con 300 g de peso, asignados en un Diseño Completamente al Azar con cuatro tratamientos, tres repeticiones cada uno y cuatro cuyes por repetición, alojados en una poza dentro de un galpón con paredes de concreto, techo de lámina metálica y ventana con suficiente ventilación. En total 12 unidades experimentales, cada poza de 1.0 m por lado y 0.37 m de altura, con un comedero y bebedero por poza para suministrar el concentrado y agua limpia y fresca, respectivamente. Se empleó una balanza con 3 kg de capacidad (PM3000, Mettler Toledo, Suiza), sensibilidad de 2 g, para el control de peso del alimento y cuyes.

Como forraje verde se suministró rastrojo de brócoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*) a un nivel de 10 % del peso vivo. Los tratamientos fueron concentrados isoenergéticos (2,730 kcal/kg) e isoproteicos (18 % de proteína), cuyos ingredientes se muestran en la TABLA I.

TABLA I
Composición de los tratamientos experimentales.

Ingredientes	Control (%)	1 % de Aceite de Pescado (%)	4 % de Semilla de Sachá Inchi (%)	1 % de Aceite de Pescado + 4 % de Semilla de Sachá Inchi (%)
Aceite de Pescado	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000
Hominy Feed	31.2817	17.3175	29.5548	28.5548
Torta de Soya 47 %	0.0000	13.2603	0.0000	0.0000
Semilla de Sachá Inchi	0.0000	0.0000	4.0000	4.0000
Gluten de Maíz 60 %	8.0000	8.0000	8.0000	8.0000
Subproducto de Trigo	52.0000	52.0000	52.0000	52.0000
Heno de Alfalfa	8.2874	8.0000	6.0000	6.0000
Sal Común	0.1309	0.1222	0.1452	0.1452
Carbonato de Calcio	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000
Fosfato Monocálcico	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Premezcla Vitaminas-Minerales	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
DL-Metionina	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
TOTAL	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000

Las dietas fueron almacenadas en bolsas plásticas rotuladas y refrigeradas por tratamiento, se suministraron ad libitum entre 9:00 a 10:00 am previa eliminación de las excretas. Como forraje verde se suministró rastrojo de brócoli a un 10 % del peso vivo de los cuyes en todos los tratamientos (se consumía en su totalidad). El agua fue a libre disposición.

La desinfección del galpón incluyó el flameado de techo, paredes y pozas, seguido de la limpieza previa de estas antes del ingreso de los cuyes. Se utilizó Vanodine como desinfectante y se dejó un periodo de reposo de una semana. Los comederos y bebederos fueron lavados y desinfectados con detergente y lejía (30 mL/L). Asimismo, las pozas se limpiaron semanalmente, mediante la remoción de material de cama y excretas húmedas, reemplazándolos por material limpio y seco.

Al final del experimento (10 semanas de edad), previo ayuno se extrajo sangre de la vena yugular externa de 12 animales (tres por tratamiento), seleccionados al azar, considerando que la unidad experimental fue la repetición (poza), el análisis se basó en tres unidades experimentales por tratamiento, evitando pseudoreplicación. Se colectó en tubos "vacutainer" convenientemente rotulados, para ser remitidos a un Laboratorio Veterinario Privado (PATOVET) para el análisis del perfil lipídico: TG, CT, HDL, LDL y VLDL, mediante un analizador bioquímico (Metrolab 1600 DR, Wiener Lab, Argentina/Italia).

Posteriormente se procedió a realizar el beneficio de los cuyes para determinar el porcentaje de grasa, AGS, AGMI y AGPI total en la carcasa por cromatografía de gas, (Perkin Elmer, Auto System XL Gas Chromatograph, Estados Unidos). Para lo cual previamente fueron rotulados y enviados al laboratorio del Instituto Tecnológico Pesquero (ITP) para el análisis respectivo.

Los datos fueron analizados utilizando el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS); se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de $P < 0.05$ y para la diferencia de medias la prueba de Duncan.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Perfil lipídico sanguíneo

La TABLA II, presenta el resultado de perfil lipídico sanguíneo de los cuyes evaluados. Se observa que, los cuyes alimentados con la dieta DC tuvieron 97 mg TG/dL y con SSI + AP; 76,5 mg TG/dL, significando una reducción numérica ($P > 0,05$) de TG de 21 % a favor de la alimentación con SSI + AP frente a la DC o control. En relación con la dieta con AP (85.5 mg TG/dL) se observó una disminución aparente ($P > 0,05$) en TG de 11,9 % en comparación con el DC (97,0 mg TG/dL).

En CT se observó que la suplementación de la dieta con AP (57,5 mg/dL), logró una posible tendencia en reducción ($P > 0,05$) de 12,9 % respecto a la dieta con 4 % de SSI (66,0 mg/dL) y de 8,7 % frente a la DC (63 mg/dL). Los AG omega-3 de AP mostraron menor concentración numérica de los niveles de CT en sangre.

Los niveles de LDL, tendieron a ser menores con la dieta de AP en 26 % en comparación a la dieta con SSI (21,6 vs 29,2 mg/dL) y 13 % en relación con la dieta con SSI + AP (24,79 mg/dL).

Asimismo, no se encontró un efecto en los tratamientos sobre la concentración de HDL cuyos niveles estuvieron de 18,1 a 19,75 mg/dL. Destacando la importancia fisiológica de la dieta con AP que dio un valor inferior no significativo de LDL respecto al control (DC) y a los otros tratamientos.

TABLA II
Perfil lipídico sanguíneo de cuyes (mg/dL)

Tratamientos	Concentración				
	TG	CT	HDL	LDL	VLDL
DC	97.0	63.0	19.75	23.85	19.40
Dieta con 1 % de AP	85.5	57.5	18.80	21.60	17.10
Dieta con 4 % de SSI	93.5	66.0	18.10	29.20	18.70
Dieta con 1 % de AP + 4 % de SSI	76.5	59.0	18.90	24.79	15.30

Nota: CT: colesterol total; TG: triglicéridos; LDL: proteínas de baja densidad; HDL: lipoproteínas de alta densidad y VLDL: lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL). DC: Dieta control; AP: dieta conteniendo 1 % de aceite de pescado, y SSI: Dieta conteniendo 4 % de Semilla de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*).

Con respecto al perfil lipídico sanguíneo, similares estudios indican que las fuentes marinas ricas en omega-3 pueden influir en la modificación de los lípidos séricos; tal es el caso de un reciente estudio en cuyes alimentados con silaje elaborado a base de subproductos de trucha (*Oncorhynchus mykiss*), donde se encontraron cambios significativos en el CT sérico ($P < 0.001$). No todas las mediciones bioquímicas variaron, sin embargo, la incorporación de lípidos de pescado en el alimento evidenció un efecto hipocolesterolemico (o al menos modulador) en el suero de cuyes [14]. Esto indica que el aceite de pescado en la dieta de cuyes se deposita en los tejidos en forma de EPA/DHA y tiende a mejorar el perfil de grasa de la carne, además de influir en parámetros lipídicos sanguíneos [14].

Samrit *et al.* [12], evaluaron la composición y efectos metabólicos del aceite de sachá inchi, demostrando a través de ensayos experimentales en modelos animales, que la suplementación con este aceite posee un efecto protector sobre el metabolismo lipídico, menor acumulación de TG, asociado a su alto contenido de omega-3 y compuestos bioactivos; posicionándolo como ingrediente funcional potencial para mejorar la salud metabólica sin comprometer parámetros fisiológicos normales.

Otro estudio indica un efecto hipocolesterolemico del aceite de sachá inchi (ASI) sobre el contenido lipídico de cuyes, como el de Blas-Bazán y Ortiz-Gómez [19], quienes reportaron que la administración oral diaria de 1.5 mL de ASI por 30 días provocó una significativa disminución del colesterol LDL sérico ($P < 0.001$).

A pesar de la notable reducción en TG y VLDL, la evidencia confirma que los omega-3 no elevan de forma apreciable el colesterol HDL. El metabolismo del HDL no es modulado directamente por estas vías. De hecho, en un estudio reciente, se observó que la fracción HDL no aumentó significativamente, e incluso pudo mostrar ligeras disminuciones o mantenerse neutra en respuesta a la bajada general de lípidos totales [16, 20].

En un estudio con cuyes, encontraron 22,7 mg de colesterol total/dL; 5,7 mg/dL de HDL y 4,3 mg de VLDL/dL en los animales alimentados con solo alfalfa (*Medicago sativa*); 12,0 mg de LDL/dL los que consumieron alfalfa más concentrado y 21,0 mg de TG/dL en animales alimentados con alfalfa más cebada (*Hordeum vulgare*), no encontraron diferencia estadística respecto al

control [21]; valores inferiores a los reportados en el presente estudio, diferencia que podría deberse al tipo de dieta y edad de los animales.

Ramos-Mamani *et al.* [22], analizaron el perfil lipídico sanguíneo de cuyes suplementados con vitamina E y selenio orgánico, encontrando un valor de 44,05 mg de colesterol total/dL en promedio; 4,67 mg de colesterol HDL/dL; 25,43 mg de colesterol LDL/dL y 69,19 mg de TG/dL, reportando diferencias estadísticas entre tratamientos.

Huamán [23], determinó los niveles séricos de lípidos totales, TG y CT en suero sanguíneo de cuyes encontrando un valor promedio de $112,59 \pm 4,74$ mg de lípidos totales/dL; $30,56 \pm 2,97$ mg colesterol/dL, y $28,32 \pm 0,46$ mg de TG/dL. Por su parte, Ibrahim *et al.* [11], sostienen que los AGPI logran una reducción en los niveles de colesterol sanguíneo, lo cual se atribuye al perfil de AG en la alimentación.

Gutiérrez *et al.* [24], lograron reducir la concentración de glucosa sanguínea, CT y LDL-C, en pollos suplementados con aceite de quinua y AP; lo cual se atribuye al contenido de AGPI y AGM presentes en la dieta. Los aceites ricos en omega-3 reducen los niveles de TG y colesterol LDL al inhibir la síntesis hepática (vía SREBP-1c) y potenciar su oxidación (vía PPAR- α). Sin embargo, dado que no estimulan los procesos específicos de síntesis de HDL, no se observa un incremento significativo en esta fracción [15, 16].

Contenido de grasa y ácidos grasos totales

El contenido de grasa y tipos de ácidos grasos totales de las carcasas de cuy se observan en la TABLA III. La tendencia a un menor contenido de grasa (13,8 %) es hacia a los animales que consumieron el concentrado con solo SSI, mientras los que recibieron la dieta suplementada con sólo AP tuvieron 21,55 % de grasa muy similar al DC.

TABLA III
Porcentaje de grasa y ácidos grasos totales (mg/g) en la carcasa de cuy (*)

Tratamientos	GRASA	AGS	AGM	AGPI
DC (control)	19,80	57,63	49,39	81,16
Dieta con 1% de AP	21,55	66,79	51,29	85,08
Dieta con 4% de SSI	13,80	33,63	28,99	67,74
Dieta con 1% de AP + 4% de SSI	15,85	40,63	36,76	72,58

(*) Los valores corresponden a una muestra compuesta de tres carcasas de cuyes por tratamiento. AGS: ácidos grasos saturados; AGM: ácidos grasos monoinsaturados; AGPI: ácidos grasos poliinsaturados. AP: dieta conteniendo 1 % de aceite de pescado, y SSI: Dieta conteniendo 4 % de Semilla de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*).

Resultados similares fueron reportados por Gutiérrez *et al.* [24], quienes señalan que los tipos de AG en la alimentación influyen en la conformación de adipocitos en depósitos subcutáneos y viscerales de los animales, fuertemente asociado con alteraciones metabólicas e inflamatorias, lo que aumenta el riesgo de padecer enfermedades crónicas no transmisibles [25, 26].

Estudios realizados con pollos suplementados con AP y manteca presentaron resultados similares [27], así como también una reducción en la acumulación de grasa subcutánea y mesentérica. Esto indica que los AGPI y AGM influyen en los depósitos de grasa corporal [28, 29]. Esta influencia podría estar

relacionada a cambios en expresión génica [30], y los AGPI podrían favorecer la β -oxidación de AG [31] incrementando actividades en enzimas L-3-hidroxiacil-CoA deshidrogenasa y carnitina palmitoiltransferasa-I [32].

Por otro lado, existe una relación entre los alimentos ricos en AGS y la aparición de ciertas enfermedades, debido a que estas dietas aumentan la cantidad de lípidos a nivel del tejido adiposo, lo que da lugar a células más grandes y con un mayor contenido de TG, lo que conlleva a un aumento en la segregación de leptina y, en consecuencia, de macrófagos que liberan citocinas como Interleucina L-1 β , Interleucina L-6 y TNF- α , provocando una inflamación a nivel del tejido adiposo subcutáneo [33].

Contrariamente a estas observaciones, los EPA y DHA provenientes del AP disminuyen la actividad inflamatoria, logrando una reducción de lipogénesis de adipocitos humanos in vitro; los AGM logran una reducción de adiposidad visceral. Los AGPI (EPA y DHA) del AP disminuyen la inflamación y limitan la producción de grasa en adipocitos, según estudios de laboratorio [34, 35].

La mayor concentración de AGPI observada en los tejidos de animales suplementados con AP se explica por la biodisponibilidad directa de ácidos grasos omega-3 de cadena larga, específicamente EPA y DHA. A diferencia de los precursores vegetales, estos compuestos no requieren conversión metabólica previa para ser activos. Tras la ingestión, se incorporan eficientemente en fosfolípidos de membranas celulares y tejidos metabólicamente activos, generando incrementos sostenidos en el perfil lipídico tisular [14, 15].

En contraste, el ASI, a pesar de su elevado contenido de ácido α -linolénico (ALA>48%), no incrementa de manera equivalente los niveles de EPA y DHA en sangre o carne. Esto se debe a que el ALA es un precursor que debe someterse a reacciones de desaturación y elongación hepática (vía enzimas $\delta 6$ y $\delta 5$ -desaturasa) para convertirse en omega-3 de cadena larga [16]. Estudios recientes confirman que esta conversión es altamente ineficiente en mamíferos. La actividad de la enzima $\delta 6$ -desaturasa actúa como un paso limitante, provocando que la tasa de conversión de ALA a EPA sea baja y hacia DHA sea insignificante (< 1-5 %) [16, 36].

Además, existe un fenómeno de competencia metabólica: el ALA compite por las mismas enzimas desaturadas con los AG omega-6 (ácido linoleico) presentes en la dieta basal. Esta competencia reduce aún más la síntesis endógena de EPA y DHA [16]. Como resultado, la mayor parte del ALA ingerido a través del sachu inchi sigue rutas alternativas: Es oxidado rápidamente como fuente de energía (β -oxidación) [16]. Se deposita directamente en el tejido adiposo como ALA, sin transformarse [15].

Desde el punto de vista funcional, EPA y DHA poseen roles fisiológicos superiores en la modulación de la fluidez de membrana y actividad antiinflamatoria que el ALA no puede replicar totalmente. En el contexto de la producción animal, esto explica por qué fuentes marinas (como el ensilado de trucha o aceite de pescado) resultan más eficientes que las vegetales cuando el objetivo es enriquecer la carne con metabolitos de cadena larga. De hecho, Arista *et al.* [14], demostraron en cuyes

que, mientras las fuentes marinas mejoran drásticamente el perfil de EPA/DHA en la carne, las fuentes vegetales tienden a elevar principalmente el ALA y los precursores, sin alcanzar los mismos niveles de enriquecimiento funcional [14, 16].

CONCLUSIONES

No se evidenciaron cambios estadísticamente significativos en los resultados; sin embargo, la combinación de SSI con AP mostró una reducción numérica en la cantidad de TG en la sangre de cuy y el aceite de pescado una tendencia a la disminución de colesterol total y la LDL. La dieta no tuvo efecto sobre la concentración de HDL.

Conflicto de intereses

Los autores de la presente investigación declaramos que no existen conflicto de interés.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Li X, Li XJ, Wu Z, Wang K, Qiao R, Han X, Li X, Yang F, Yu T, Wang T, Bai J. Recent advances in nutritional requirements and metabolic homeostasis regulation of animals under stress conditions. *Animals*. [Internet]. 2025; 15(23):3412. doi: <https://doi.org/q8b7>
- [2] Ipharraguerre IR, Rosales-Cavaglieri LA, Rimbach G. Bioenergetic signatures of circulating blood cells as biosensors of metabolic health in food-producing animals. *Front. Vet. Sci*. [Internet]. 2025; 12:1653669. doi: <https://doi.org/q8b8>
- [3] Avilez B, Rugeles C, Jabib L, Herrera Y. Hematological parameters in broilers reared in a closed production farm in the low tropics. *Rev. Med. Vet*. [Internet]. 2015 [citado 23 Ene 2026]; 29:33-39. Disponible en: <https://goo.su/ZKjD>
- [4] Delfino L, De Souza B, Da Silva R, Silva W. Efeito do estresse calórico sobre o eritrograma de ruminantes. *Agropec. Cient. Semiárido*. [Internet]. 2012; 8(2):1-7. doi: <https://doi.org/q8b9>
- [5] Xenouli P, Steiner J. Lipid metabolism and hyperlipidemia in dogs. *Vet. J*. [Internet]. 2010; 183(1):12-21. doi: <https://doi.org/cdft69>
- [6] Bailey A, Mohiuddin SS. Biochemistry, High Density Lipoprotein. In: *StatPearls* [Internet]. Treasure Island, Florida, USA: StatPearls Publishing; 2026 [citado 23 Ene 2026]. Disponible en: <https://goo.su/kF01q6>
- [7] Darly J, Osorio J. Perfil metabólico de aves comerciales mediante métodos directos. *Rev. Investig. Vet. Perú*. [Internet]. 2013; 24(2):162-167. doi: <https://doi.org/q8cb>

- [8] Matodobra-Mazur M, Cierznia A, Pawełka D, Kaliszewski K, Rudnicki J, Dobosz T. Metabolic differences between subcutaneous and visceral adipocytes differentiated with an excess of saturated and monounsaturated fatty acids. *Genes*. [Internet]. 2020; 11(9):1092. doi: <https://doi.org/q8cc>
- [9] Attia Y, Al-Harhi M, Abo El-Maaty H. The effects of different oil sources on performance, digestive enzymes, carcass traits, biochemical, immunological, antioxidant, and morphometric responses of broiler chicks. *Front. Vet. Sci.* [Internet]. 2020; 7:181. doi: <https://doi.org/q8cd>
- [10] Huang C, Chien Y, Chen Y, Ajuwon K, Mersmann H, Ding ST. Role of n-3 polyunsaturated fatty acids in ameliorating the obesity-induced metabolic syndrome in animal models and humans. *Int. J. Mol. Sci.* [Internet]. 2016; 17(10):1689. doi: <https://doi.org/q8cf>
- [11] Ibrahim D, El-Sayed R, Khater SI, Said EN, El-Mandrawy S. 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.* [Internet]. 2018; 4(1):44-51. doi: <https://doi.org/q8cg>
- [12] Samrit T, Osotprasit S, Chaiwichien A, Suksomboon P, Chansap S, Athipornchai A, Changklungmoa N, Kueakhai P. Cold-pressed sacha inchi oil: High in omega-3 and prevents fat accumulation in the liver. *Pharmaceuticals*. [Internet]. 2024; 17(2):220. doi: <https://doi.org/q8cj>
- [13] Corino C, Vizzarri F, Ratti S, Pellizzer M, Rossi R. Long term dietary supplementation with omega-3 fatty acids in Charolais beef cattle reared in Italian intensive systems: Nutritional profile and fatty acids composition of *Longissimus lumborum* muscle. *Animals*. [Internet]. 2022; 12(9):1123. doi: <https://doi.org/q8ck>
- [14] Arista M, Zamora-Huamán SJ, Saucedo-Urriarte JA, Fernández-Castro P, Maldonado N, Valle L, Del Solar JC, Arista-Vargas DL, López-Lapa RM, Torres C, Leiva Y, Vásquez HV, Maicelo JL, Bardales W. *Oncorhynchus mykiss* silage improves meat fatty acids profile, blood parameters, intestinal histomorphometry, productive performance, and modulates the cecal microbiota of *Cavia porcellus*. *Front. Nutr.* [Internet]. 2026; 12:1725233. doi: <https://doi.org/q8cm>
- [15] Valenzuela R, Barrera C, González-Astorga M, Sanhueza J, Valenzuela A. Alpha linolenic acid (ALA) from *Rosa canina*, sacha inchi and chia oils may increase ALA accretion and its conversion into n-3 LCPUFA in diverse tissues of the rat. *Food Funct.* [Internet]. 2014; 5(7):1564-1572. doi: <https://doi.org/ckck>
- [16] Mendoza-Almeida T, Ramírez-Roca EG, Suárez-Cunza S. Fatty acid profile and effect of *Plukenetia volubilis* L. (sacha inchi) oil on lipid metabolism in rats fed a high-fat diet. *Braz. J. Med. Biol. Res.* [Internet]. 2025; 58:e14684. doi: <https://doi.org/q8cn>
- [17] Oriundo K, Delgadillo P, Arévalo R, Alfaro M, Bautista S. Parámetros hematológicos de referencia de cuyes nativos (*Cavia porcellus*). *Rev. Investig. Vet. Perú.* [Internet]. 2021; 32(5):e18417. doi: <https://doi.org/q8cp>
- [18] Gómez E, Jimenez A, Ruperez P. Effect of the red seaweed *Mastocarpus stellatus* intake on lipid metabolism and antioxidant status in healthy Wistar rats. *Food Chem.* 2012; 135(2):806–811. doi: <https://doi.org/f38txs>
- [19] Blas-Bazán SE, Ortiz-Gómez CP. Efecto del aceite de *Plukenetia volubilis* “sacha inchi” en la concentración LDL-colesterol en *Cavia porcellus* Laboratorio UPAO 2023. [Tesis de pregrado]. Trujillo, Perú: Universidad Privada Antenor Orrego. 2023 [citado 23 Ene 2026]; 66 p. Disponible en: <https://goo.su/wSuoU>
- [20] Sokoła-Wysoczańska E, Wysoczański T, Wagner J, Czyż K, Bodkowski R, Lochyński S, Patkowska-Sokoła B. Polyunsaturated fatty acids and their potential therapeutic role in cardiovascular system disorders-a review. *Nutrients*. [Internet]. 2018; 10(10):1561. doi: <https://doi.org/gms83m>
- [21] Aybar M. Perfil lipídico sanguíneo de cuyes en crecimiento en el C.E. Pampa del Arco – Ayacucho. [Tesis de pregrado]. Ayacucho, Perú: Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga. 2011 [citado 23 Ene 2026]; 99 p. Disponible en: <https://goo.su/JrUQ7f>
- [22] Ramos-Mamani L, Telles R, Padilla M. Análisis de perfil lipídico en cuyes (*Cavia porcellus*) suplementados con vitamina E y selenio orgánico. *Rev. Investig. Cienc. Agron. Vet. ALFA*. [Internet]. 2022; 6(16):140–144. doi: <https://doi.org/q8cs>
- [23] Huamán J. Niveles séricos de lípidos totales, triglicéridos, colesterol y correlaciones en cuyes (*Cavia porcellus* L.) del CIP Majes, Arequipa. [Tesis de pregrado]. Puno, Perú. Universidad del Altiplano; 2019 [citado 23 Ene 2026]; 76 p. Disponible en: <https://goo.su/RCTqR>
- [24] Gutiérrez-Zorrilla I, Bernuy-Osorio N, Zea-Mendoza O, Vilchez-Perales C. Influencia de ácidos grasos en parámetros sanguíneos y adipogénesis: estudio experimental en pollos eclosionados. *Arch. Latinoam. Nutr.* [Internet]. 2022; 72(4):285-293. doi: <https://doi.org/g5mdk9>

- [25] Almeida E, Sabino CP, Leão APD, Rodrigues I, Diniz AS, Arruda IK. Razón entre grasa visceral y subcutánea como predictor de alteraciones cardiometabólicas. *Rev. Chil. Nutr.* [Internet]. 2018; 45(1):28-36. doi: <https://doi.org/q8cv>
- [26] Hernández G, Rivera J, Serrano R, Villalta D, Abbate M, Acosta L, Paoli M. Adiposidad visceral, patogenia y medición. *Rev. Venez. Endocrinol. Metab.* [Internet]. 2017 [citado 23 Ene 2026]; 15(2):70-77 Disponible en: <https://goo.su/ZzNKs>
- [27] Torchon ET, Das S, Beckford RC, Voy BH. Enriching the starter diet in n-3 polyunsaturated fatty acids reduces adipocyte size in broiler chicks. *Curr. Dev. Nutr.* [Internet]. 2017; 1(11):e001644. doi: <https://doi.org/q8cw>
- [28] González-Ortiz G, Sala R, Cánovas E, Abed N, Barroeta A. Consumption of dietary n-3 fatty acids decreases fat deposition and adipocyte size but increases oxidative susceptibility in broiler chickens. *Lipids.* [Internet]. 2013; 48(7):705-717. doi: <https://doi.org/f43jbg>
- [29] Kim M, Voy B. Fighting fat with fat: n-3 polyunsaturated fatty acids and adipose deposition in broiler chickens. *Front. Physiol.* [Internet]. 2021; 12:755317. doi: <https://doi.org/g9hq88>
- [30] Mohammadpour F, Darmani-Kuhi H, Mohit A, Sohani M. Obesity, insulin resistance, adiponectin, and PPAR-g gene expression in broiler chicks fed diets supplemented with fat and green tea (*Camellia sinensis*) extract. *Domest. Anim. Endocrinol.* [Internet]. 2020; 72:106440. doi: <https://doi.org/q8cx>
- [31] Skřivan M, Marounek MM, Englmaierova M, Čerma K L, Vlčková J, Skřivanova E. Effect of dietary fat type on intestinal digestibility of fatty acids, fatty acid profiles of breast meat and abdominal fat, and mRNA expression of lipid related genes in broiler chickens. *PLoS One.* [Internet]. 2018; 13(4):e0196035. doi: <https://doi.org/q8cz>
- [32] Sanz M, López-Bote CJ, Menoyo D, Bautista J. Abdominal fat deposition and fatty acid synthesis are lower and beta-oxidation is higher in broiler chickens fed diets containing unsaturated rather than saturated fat. *J. Nutr.* [Internet]. 2000; 130(12):3034–3037. doi: <https://doi.org/q8c2>
- [33] Ravaut G, Légiot A, Bergeron K, Mounier C. Monounsaturated fatty acids in obesity-related inflammation. *Int J. Mol. Sci.* [Internet]. 2021; 22(1):330. doi: <https://doi.org/gnk4tv>
- [34] Ferguson J, Roberts-Lee K, Borcea C, Smith H, Midgett Y, Shah R. Omega-3 polyunsaturated fatty acids attenuate inflammatory activation and alter differentiation in human adipocytes. *J. Nutr. Biochem.* [Internet]. 2019; 64:45-49. doi: <https://doi.org/q8c3>
- [35] Liu X, Kris-Etherton P, West S, Lamarche B, Jenkins D, Fleming J, McCrea CE, Pu S, Couture P, Connelly PW, Jones PJH. Effects of canola and high-oleic-acid canola oils on abdominal fat mass in individuals with central obesity. *Obesity.* [Internet]. 2016; 24(11):2261–2268. doi: <https://doi.org/f9gfjk>
- [36] Baker EJ, Miles EA, Burdge GC, Yaqoob P, Calder PC. Metabolism and functional effects of plant-derived omega-3 fatty acids in humans. *Prog. Lipid. Res.* [Internet]. 2016; 64:30-56. doi: <https://doi.org/gn633d>