

Suplementación de L-metionina y estimación dietaria óptima de metionina más cisteína en patos Muscovy en crecimiento (*Cairina moschata* Linnaeus, 1758)

L-methionine supplementation and optimal dietary estimation of methionine plus cysteine in growing Muscovy ducks (*Cairina moschata* Linnaeus, 1758)

Hilario Pujada A.^{1*}, Carmen Quispe L.², Edwin Llashag L.², Betty Palacios-Rodríguez², Jorge Cabello T.³, Miguel Lucho-Cerga³, Félix Airahuacho B.¹

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la suplementación dietaria de cinco niveles de L-Met sobre el rendimiento productivo de patos macho Muscovy en crecimiento. El suplemento de metionina contenía 99% de L-Met. Se utilizaron 72 patos (0.66 ± 0.11 kg) de 21 días de edad distribuidos aleatoriamente en 5 tratamientos: 1) dieta basal (DB) conteniendo 0.5% Met + Cist, sin suplementación de L-Met, 2) DB + 0.1% L-Met, 3) DB + 0.2% L-Met, 4) DB + 0.3% L-Met y 5) DB + 0.4% L-Met. Cada réplica estuvo formada por tres aves. Se encontró diferencias estadísticas para consumo de alimento ($p=0.002$) y longitud de la cuarta pluma primaria ($p<0.001$), pero sin diferencia significativa para peso corporal, ganancia de peso total y conversión alimenticia ($p>0.05$). La suplementación con 0.1-0.3% L-Met mejoró el consumo de alimento y la longitud de plumas, con tendencia de mejorar el peso corporal. La suplementación con 0.4% L-Met disminuyó el consumo de alimento. La concentración de metionina más cisteína para alcanzar el óptimo peso corporal y longitud de plumas fue estimado en 0.67 y 0.68%, respectivamente.

Palabras clave: metionina, consumo de alimento, crecimiento de plumas, desequilibrio de aminoácidos

¹ Departamento Académico de Zootecnia, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Lima, Perú

² Departamento Académico de Bromatología y Nutrición, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Lima, Perú

³ Instituto de Educación Superior Público Huando, Lima, Perú

* Autor de correspondencia: Hilario Noberto Pujada Abad; hpujada@unifsc.edu.pe

Recibido: 10 de octubre de 2023

Aceptado para publicación: 28 de septiembre de 2024

Publicado: 20 de diciembre de 2024

©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 aim of the study was to evaluate the effect of dietary supplementation of five levels of L-Met on the productive performance of growing Muscovy male ducks. Methionine supplementation contained 99% L-Met. Seventy-two ducks (0.66 ± 0.11 kg) of 22 days of age were used and randomly distributed into 5 treatments: 1) basal diet (BD) containing 0.5% Met + Cyst, without L-Met supplementation, 2) DB + 0.1% L-Met, 3) DB + 0.2% L-Met, 4) DB + 0.3% L-Met and 5) DB + 0.4% L-Met. Each replicate consisted of three birds. Statistical differences were found for feed intake ($p=0.002$) and fourth primary feather length ($p<0.001$), but no significant difference for body weight, total weight gain and feed conversion ($p>0.05$). Supplementation with 0.1-0.3% L-Met improved feed intake and feather length, with a tendency to improve body weight. Supplementation with 0.4% L-Met decreased feed intake. The concentration of methionine plus cysteine to achieve optimal body weight and feather length was estimated at 0.67 and 0.68%, respectively.

Key words: methionine, feed intake, feather growth, amino acid imbalance

INTRODUCCIÓN

El pato Muscovy (*Cairina Moschata* Linnaeus, 1758) es originario de América del Sur y fue domesticado por nativos peruanos y colombianos (AHAW panel *et al.*, 2023). En la actualidad, el pato Muscovy es una de las especies más utilizadas en la industria de la cría de patos debido a su gran tamaño, la calidad de su carne y considerable valor económico para los pequeños productores (Arias-Sosa y Rojas, 2021). Sin embargo, la falta de información en investigaciones de nutrición que mejoren su gestión productiva dificulta aún su producción a escala industrial (Santos *et al.*, 2020).

El pato Muscovy (*Cairina Moschata* Linnaeus, 1758) es la segunda carne de ave preferida por el consumidor peruano, centrándose casi el 70% de su producción en la región Lima (INEI, 2012). El pato Muscovy es preferido en los sistemas de producción animal debido a que produce una canal de menos contenido graso y superior desarrollo del músculo pectoral comparado con el pato Pekín, siendo su crecimiento similar entre sexos

hasta las tres semanas de edad, alcanzando el pico máximo de crecimiento entre los 30 y 35 días de vida (Lázaro *et al.*, 2004).

Las dietas predominantes en la industria avícola en el Perú se caracterizan por ser elaboradas en base al maíz y la soya, que, suplementadas con aminoácidos sintéticos, se consigue evitar los problemas de aminoácidos limitantes del crecimiento. La metionina (Met) suele ser el primer aminoácido limitante en este tipo de dietas, siendo el problema solucionado comúnmente con la adición de DL-Met (Millecam *et al.*, 2021). Esta presentación es una mezcla racémica (50:50) de isómeros D y L, que tendrían una eficacia de utilización del 95% (Xue *et al.*, 2018).

El aminoácido en la forma L-Met se encuentra disponible en forma comercial para su inclusión en el alimento de monogástricos. Teóricamente, el rendimiento animal sería mejor cuando se adiciona L-Met por su inmediata disponibilidad para los procesos de síntesis proteica y metabolismo intestinal, mientras que el isómero D recién es convertida a L en el hígado y riñón (Su *et al.*, 2018). Asimismo, se demuestra que la suplemen-

tación con Met mejora el desarrollo y crecimiento de las vellosidades intestinales (Su *et al.*, 2018).

El pato Muscovy puede alcanzar altos rendimientos de carne; sin embargo, no todos los sistemas productivos son capaces de alcanzarlo, especialmente en los países en desarrollo, debido a la falta de información actualizada en nutrición sobre sus requerimientos nutricionales (Arias-Sosa y Rojas, 2021). Ante esto, el objetivo de la investigación fue evaluar el rendimiento productivo de este tipo de pato alimentado con dietas suplementadas con L-Met y estimar las concentraciones óptimas de metionina más cisteína (Met+Cist) para la etapa de 22 a 49 días de edad.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación fue realizada en las instalaciones de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, ubicada en la ciudad Huacho, provincia de Huaura, Región Lima, Perú, entre los meses de abril y mayo de 2022. El galpón experimental presentó una dimensión de 3.5 x 14 m, con techo doble agua, piso de tierra y enmallado en todo su entorno. Los corrales experimentales (3 x 2 x 0.7 m) fueron construidos utilizando malla de metal y listones de madera.

Se utilizaron 72 patos machos Muscovy, desde el primer día de edad hasta los 21 días, alimentados con la dieta inicial, según recomendaciones nutricionales de Grimaud Freres Company (2015). Las aves tuvieron un peso corporal medio de 0.66 ± 0.11 kg, y fueron distribuidas aleatoriamente en 5 tratamientos de 5 réplicas cada uno, con excepción del tratamiento con 0.2% L-Met de 4 réplicas. Para ello, la dieta basal, en base a maíz y torta de soya (Cuadro 1), fue suplementada con niveles ascendentes del aminoácido comercial L-Met (Best Amino™, contenido mínimo de 99% L-metionina).

Los tratamientos fueron:

- Dieta basal conteniendo 0.5% Met + Cist sin suplementación de L-Met (DB)
- DB + 0.1% L-Met
- DB + 0.2% L-Met
- DB + 0.3% L-Met
- DB + 0.4% L-Met.

Muestras de maíz nacional, torta de soya 44 y subproducto de trigo fueron remitidas al laboratorio (La Molina Calidad Total Laboratorios, Lima) para el análisis de proteína y aminoácidos según el método del AOAC (2019) y Heinrikson y Meredith (1984). Toda la dieta experimental fue peletizada en una planta de alimento comercial (Procesing Calidad Cielo EIRL, Barranca, Lima). El alimento peletizado y agua fueron suministrados a las aves a voluntad. Asimismo, fueron vacunadas vía subcutánea contra parvovirus en los días 1 y 18 de edad.

El peso corporal y el consumo de alimento fueron registrados cada 7 días a las 06:00 h, utilizando una balanza Ohaus T31P de 10 kg de capacidad máxima y 1 g de precisión. La eficiencia de conversión alimenticia semanal fue el cociente entre el consumo de alimento y la ganancia de peso de cada semana, mientras que la conversión alimenticia acumulada fue el cociente del consumo de alimento total y la ganancia de peso total en la etapa de crecimiento (de 22 a 49 días de edad). La longitud de la pluma primaria del ala se obtuvo midiendo la cuarta pluma primaria, según Zhang *et al.* (2019), utilizando el pie de rey a una escala mínima de 1 mm desde los 35 hasta los 49 días de edad.

Se realizó el análisis de covarianza del peso corporal semanal, utilizando el peso corporal de los 21 días como covariable. El consumo de alimento, conversión alimenticia y longitud de plumas fueron analizadas con el análisis de variancia. Se empleó la prueba de medias de Tukey para determinar las diferencias específicas entre tratamientos.

Cuadro 1. Ingredientes y contenido nutricional de la dieta basal (valores tal como ofrecido)

Insumos	%
Aceite de soya	1.00
Maíz nacional	62.92
Torta soya 44	23.76
Subproducto de trigo	8.51
Carbonato de calcio	0.99
Fosfato dicálcico	1.79
Sal	0.33
Aditivos ¹	0.30
Composición nutricional	
<i>Valores estimados²</i>	
Proteína cruda	16.3
Metionina	0.22
Metionina + cisteína	0.50
Lisina	0.86
Treonina	0.67
Triptófano	0.21
<i>Valores estimados³</i>	
Energía metabolizable, kcal/kg	2900
Fibra cruda	3.04
Grasa cruda	4.02
Calcio	0.90
Fosforo disponible	0.45
Sodio	0.15

¹ Contenia 0.05 % coccidiostato, 0.1 % secuestrante de micotoxinas, 0.15 % premezcla de vitaminas y minerales para pollos de engorde (12 000 000 UI Retinol, 5 000 000 UI Colecalciferol, 30 000 UI DL Alfa Tocoferol Acetato, 3 g Menadiona Bisulfito, 2 g tiamina, 10 g riboflavina, 3 g piridoxina, 0.015 cianocobalamina, 11 g ácido Pantoténico, 2 g ácido Fólico, 30 g niacina, 0.15 g biotina, 80 g manganeso, 80 g zinc, 50 g hierro, 12 g cobre, 1 g yodo, 0.30 g selenio), 0.4 % cascara de arroz

² Valor estimado de acuerdo al análisis de proteína y aminograma de muestras de maíz, torta de soya y subproducto de trigo.

³ Valor estimado según Rostagno *et al.* (2017)

El modelo lineal segmentado fue ejecutado para determinar el nivel de metionina óptimo, según el procedimiento de la librería *Segmented* (Adams, 2017, usando el modelo siguiente: $Y = \alpha + \beta (X - \theta) + \text{error}$, donde Y es la variable de resultado; X es la concen-

tración medida del componente de la dieta; α es el rendimiento máximo estimado; β es el aumento estimado del rendimiento por concentración hasta el valor umbral a partir del cual el rendimiento ya no aumenta; θ = valor umbral de concentración estimado - (concentración-theta) = 0, para $x > \theta$; y error que es la diferencia entre el rendimiento estimado y el observado. Todos los análisis estadísticos y modelos para determinar el nivel óptimo de metionina fueron realizados utilizando el software libre R v. 4.0.3. (R Core Team, 2020).

RESULTADOS

El Cuadro 2 muestra los indicadores productivos de patos Muscovy alimentados con las dietas suplementadas con L-Met durante la etapa de crecimiento (21-49 d). Se encontraron diferencias significativas por efecto de la suplementación de L-Met para el consumo de alimento ($p < 0.01$) y el crecimiento de plumas ($p < 0.01$), pero no para la ganancia de peso total ($p = 0.28$) ni la conversión alimenticia ($p = 0.16$).

La Figura 1 muestra el comportamiento de los parámetros productivos de patos Muscovy alimentados con dietas suplementadas con L-Met en la etapa de crecimiento (22 a 49 días). El peso corporal tiende a incrementar con la suplementación de L-Met (1A), mientras que el consumo de alimento disminuye en el tratamiento control o en el tratamiento suplementado con 0.4% L-Met (1B). La conversión alimenticia fue ligeramente mejor en el grupo control y peor en el tratamiento suplementado con 0.4% L-Met (1C), aunque sin diferencias estadísticas, mientras que la longitud de plumas fue mayor en los tratamientos suplementados con L-Met (1D) ($p < 0.001$).

La concentración de metionina + cisteína para alcanzar el óptimo peso corporal y longitud de plumas (Cuadro 3) fue estimado en 0.67 y 0.68%, respectivamente. La bon-

Cuadro 2. Parámetros productivos de patos Muscovy alimentados con dietas suplementadas con L-Met en la etapa de crecimiento (22 a 49 días)

Tratamientos	Réplica	Peso corporal 21 d (kg) ¹	Ganancia peso total (kg) ²	Consumo de alimento ²	Conversión alimenticia ¹	4ª pluma primaria (cm) ¹
0.0% L-Met	4	0.60 ± 0.12	2.05 ± 0.09	3.54 ± 0.17 ^b	1.69 ± 0.10	3.23 ± 0.83 ^b
0.1% L-Met	5	0.66 ± 0.06	2.31 ± 0.09	4.37 ± 0.15 ^a	1.89 ± 0.09	4.58 ± 0.26 ^a
0.2% L-Met	4	0.68 ± 0.09	2.30 ± 0.10	4.28 ± 0.17 ^a	1.85 ± 0.10	4.31 ± 0.63 ^a
0.3% L-Met	5	0.71 ± 0.11	2.32 ± 0.09	4.46 ± 0.15 ^a	1.88 ± 0.09	4.73 ± 0.2 ^a
0.4% L-Met	5	0.64 ± 0.14	2.25 ± 0.09	3.62 ± 0.15 ^b	1.62 ± 0.09	4.58 ± 0.49 ^a
<i>p</i> -valor (tratamientos)			0.28	<0.01	0.16	<0.01

^{a,b} Letras diferentes en una columna indica diferencias significativas entre tratamientos.

¹ Media ± desviación estándar

² Media ± error estándar marginales

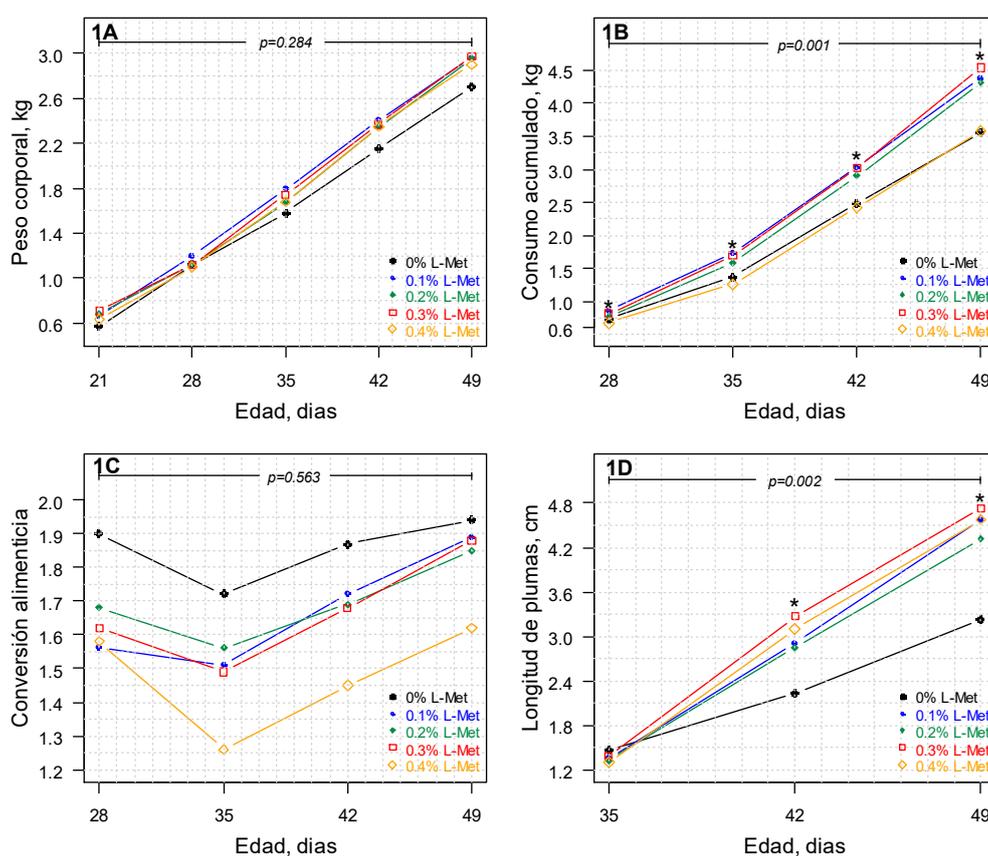


Figura 1. Indicadores productivos de patos Muscovy en la etapa de crecimiento (22-49 días) alimentados con dietas suplementadas con L-Met. 1) A. Peso corporal, 1B) consumo de alimento acumulado, 1C) conversión alimenticia acumulada, 1D) Longitud de plumas. Los valores graficados en 1A son medias ajustadas por el covariable peso inicial 22 días ($p < 0.05$). (*) Indica diferencias estadísticas significativas

Cuadro 3. Concentración óptima de metionina y metionina más cisteína para patos Muscovy en crecimiento

	Metionina + cisteína	
	Porcentaje	R ²
Peso corporal	0.67 ± 0.02	97
Longitud de plumas	0.68 ± 0.04	94

dad de ajuste del modelo de regresión (R²) muestran valores cercanos a la unidad que sugieren que la variable dependiente es explicada adecuadamente por la variable independiente.

DISCUSIÓN

La suplementación de niveles incrementados de L-Met solo mostró tendencias no significativas de mejorar el peso corporal de patos Muscovy en crecimiento, mientras que la no suplementación tendió a deteriorarla. Por otro lado, la suplementación con 0.4% L-Met afectó negativamente el consumo de alimento, lo que sugiere que a mayores niveles de suplementación de Met, el peso corporal disminuiría significativamente. Según Xue *et al.* (2018), la ganancia de peso en patos Pekín empieza a disminuir a medida que la DL-Met o L-Met suplementaria aumenta de 0.50 a 1.25%. La Met es el aminoácido más tóxico cuando se encuentra en exceso, disminuyendo el crecimiento del ave (Yang *et al.*, 2020). Según Tombarkiewicz *et al.* (2024), la toxicidad de la metionina se atribuye a su metabolito homocisteína, siendo el ácido fólico un nutriente clave para su eliminación. Pollos de engorde alimentados con dietas deficientes en vitamina B6 pierden el apetito y reducen el consumo de alimento (Gehle y Balloun, 1965), debido a que se priorizaría el catabolismo de la metionina antes que los procesos de síntesis proteica.

El desequilibrio de aminoácidos, que es cualquier cambio en las proporciones de aminoácidos de una dieta, provoca un efecto adverso sobre el apetito y la tasa de crecimiento (Kurpad, 2018). Esta condición estaría ocurriendo en los patos de los tratamientos control y suplementado con 0.4% L-Met. Los desequilibrios pueden ser causados por la adición de cantidades relativamente pequeñas de uno o dos aminoácidos a una dieta, o cuando hay un pequeño exceso de aminoácido que causa la deficiencia relativa (Kurpad, 2018). Wu *et al.* (2022) observaron que el estado de la Met dietaria altera el metabolismo proteico y lipídico de patos Pekín de 15 a 42 días, manifestándose con una depresión del crecimiento y un depósito excesivo de grasa, donde el retraso del crecimiento estaría relacionado con la disminución de la expresión de genes y proteínas relacionados con el metabolismo lipídico que disminuirían la producción de ATP.

La suplementación con L-Met mejoró ligera, aunque no significativamente, la conversión alimenticia; sin embargo, el menor consumo de alimento y la mínima tendencia numérica de perder peso de las aves del tratamiento con 0.4% L-Met conllevó a alcanzar aparentemente la conversión alimenticia más eficiente. Xue *et al.* (2018), al investigar los efectos del exceso de la suplementación dietaria de Met de 0.25 a 1.25%, no encontraron diferencias estadísticas para la conversión alimenticia en patos Pekín de 7 a 21 días.

Las plumas desempeñan un papel fundamental en la conservación del calor para ayudar a reducir los requerimientos de energía de mantenimiento y mejorar el rendimiento de la producción avícola (Clark *et al.*, 2011). El mal emplume reduce tanto la calidad de la canal al sacrificio de las aves como la ganancia neta (Zeng *et al.*, 2015). La Met se convierte mediante transulfuración en cistina, que participa en la síntesis de queratina de las plumas, siendo el principal factor nutriente que afecta tanto la cobertura de las plumas como

su longitud (Zeng *et al.*, 2015). En el presente estudio, la suplementación con L-Met mejoró el crecimiento de la cuarta ala primaria a partir de los 42 días de edad. Similarmente, Zhang *et al.* (2019) observaron una mayor longitud de la cuarta pluma primaria del ala comparados con el control en patos Pekín alimentados con dietas suplementadas con niveles entre 0.05 y 0.2% DL-Met o L-Met.

Es necesario realizar evaluaciones rutinarias de las necesidades nutricionales en aves de engorde, ya que la selección genética aporta cambios constantes en las proporciones de los componentes corporales (Pontin *et al.*, 2018). En el presente estudio, el requerimiento de Met+Cist para patos Muscovy en la etapa de crecimiento fue estimado en 0.67 y 0.68% como concentración para un peso corporal óptimo y mayor longitud de plumas, respectivamente. Estos resultados son cercanos a los reportados por Grimaud-Freres Company (2015), quienes recomiendan niveles de 0.65% Met+Cist en la dieta de patos Muscovy para la etapa de crecimiento.

CONCLUSIONES

- La suplementación con 0.1 y 0.3% L-Met solo mostró tendencias no significativas de mejoras sobre el peso corporal de patos Muscovy en crecimiento.
- La suplementación con 0.1 y 0.3% L-Met aumentó significativamente el consumo de alimento y la longitud de la cuarta ala primaria de patos Muscovy en crecimiento.
- La concentración de Met+Cist para un óptimo peso corporal y longitud de plumas de patos Muscovy en crecimiento fue estimada en 0.67 y 0.68%, respectivamente.

LITERATURA CITADA

1. **Adams M. 2017.** lm.br: Linear model with breakpoint. [Internet]. Available in: <https://cran.r-project.org/package=lm.br>
2. **[AOAC] Asociación de Químicos Analíticos Oficiales. 2019.** Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 21st ed. Washington DC, USA: AOAC.
3. **AHAW Panel (EFSA Panel on Animal Health and Animal Welfare), Nielsen SS, Alvarez J, Bicout DJ, Calistri P, Canali E, et al. 2023.** Welfare of ducks, geese and quail on farm. EFSA Journal 21: e07992. doi: 10.2903/j.efsa.-2023.7992
4. **Arias-Sosa LA, Rojas AL. 2021.** A review on the productive potential of the Muscovy duck. World Poultry Sci J 77: 565-588. doi: 10.1080/00439339.2021.-1921668
5. **Clark CJ, Elias DO, Prum RO. 2011.** Aeroelastic flutter produces hummingbird feather songs. Science 333: 1430-1433. doi: 10.1126/science.1205222
6. **Gehle MH, Balloun SL. 1965.** Selected hemocytological effects of vitamin B6 deficiency in chicks. J Nutr 87: 197-201. doi_10.1093/jn/87.2.197
7. **Grimaud Freres Company. 2015.** Rearing guide roasting canedins. France: GrimaudFrères Sélection. 21 p
8. **Heinrikson RL, Meredith SC. 1984.** Amino acid analysis by reverse-phase high-performance liquid chromatography: precolumn derivatization with phenylisothiocyanate. Anal Biochem 136: 65-74. doi: 10.1016/0003-2697(84)90307-5
9. **[INEI] Instituto Nacional de Estadística e Informática. 2012.** IV Censo Nacional Agropecuario. Lima, Perú. [Internet]. Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/Menu-Recursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1057/libro.pdf

10. **Kurpad AV. 2018.** 90th anniversary commentary: amino acid imbalances: still in the balance. *J Nutrit* 148: 1647-1649. doi: 10.1093/jn/nxy195
11. **Lázaro R, Vicente B, Capdevila J. 2004.** Nutrición y alimentación de avicultura complementaria: Patos. XX Curso de Especialización FEDNA. Barcelona.
12. **Millecam J, Khan DR, Dedeurwaerder A, Saremi B. 2021.** Optimal methionine plus cysteine requirements in diets supplemented with L-methionine in starter, grower, and finisher broilers. *Poult Sci* 100: 910-917. doi: 10.1016/j.psj.-2020.11.023
13. **Pontin CA, Vieira SL, Stefanello C, Kipper M, Kindlein L, Simões CT, Gonzalez-Esquerria R. 2018.** Estimation of broiler responses to increased dietary methionine hydroxy analogue [DL-2-hydroxy-(4-methylthio) butanoic acid] using linear and nonlinear regression models. *Poultry Sci* 97: 865-873. doi: 10.3382/ps/pex330
14. **R Core Team 2020.** R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. [Internet]. Available in: <https://www.R-project.org/>
15. **Rostagno HS, Teixeira LF, Hannas MI, Donzele JL, Sakomura NK, Perazzo FG, Saraiva A, et al. 2017.** Tablas brasileñas para aves y cerdos: composición de alimentos y requerimientos nutricionales. 4° ed. Brasil: Univ. Federal de Viçosa. 488 p.
16. **Santos ANA, Cruz FGG, Oliveira Filho PA, Farias TM, Rufino JPF, Viana Filho GB. 2020.** Sodium requirement for Muscovy ducks in housing. *Braz J Poult Sci* 22: eRBCA-2018. doi: 10.1590/1806-9061-2018-0936
17. **Su W, Zhang H, Ying Z, Li Y, Zhou L, Wang F., Zhang L, Wang T. 2018.** Effects of dietary L-methionine supplementation on intestinal integrity and oxidative status in intrauterine growth-retarded weanling piglets. *Euro J Nutrit* 57: 2735-2745. doi: 10.1007/s00394-017-1539-3
18. **Tombarkiewicz B, Trzeciak K, Lis MW, Makulska J, Pawlak K, Bojarski B. 2024.** The effect of methionine and folic acid administered *in ovo* on the blood biochemical parameters of chickens (*Gallus gallus domesticus*). *Poult Sci* 103: 103731. doi: 10.1016/j.psj.2024.103731
19. **Wu Y, Tang J, Wen Z, Zhang B, Cao J, Zhao L, Guo Z, et al. 2022.** Dietary methionine deficiency stunts growth and increases fat deposition via suppression of fatty acids transportation and hepatic catabolism in Pekin ducks. *J Anim Sci Biotechnol* 13: 61. doi: 10.1186/s40104-022-00709-z
20. **Xue JJ, Xie M, Tang J, Huang W, Zhang Q, Hou SS. 2018.** Effects of excess DL- and L-methionine on growth performance of starter Pekin ducks. *Poultry Sci* 97: 946-950. doi: 10.3382/ps/pex380.
21. **Yang Z, Yang Y, Yang J, Wan X, Yang H, Wang Z. 2020.** Hyperhomocysteinemia induced by methionine excess is effectively suppressed by betaine in geese. *Animals* 10: 1642. doi: 10.3390/ani10091642
22. **Zeng QF, Zhang Q, Chen X, Doster A, Murdoch R, Makagon M, Gardner A, Applegate TJ. 2015.** Effect of dietary methionine content on growth performance, carcass traits, and feather growth of Pekin duck from 15 to 35 days of age. *Poultry Sci* 94: 1592-1599. doi: 10.3382/ps/pev117
23. **Zhang YN, Xu RS, Min L, Ruan D, Kim HY, Hong YG, Chen W, et al. 2019.** Effects of L-methionine on growth performance, carcass quality, feather traits, and small intestinal morphology of Pekin ducks compared with conventional DL-methionine. *Poultry Sci* 98: 6866-6872. doi: 10.3382/ps/pez438