

Revista Plumazos. Edición 79 (2024).

ANEXO.

Redes neuronales artificiales para modelar y optimizar el costo del huevo en gallinas ponedoras de segundo ciclo basadas en la ingesta dietética de aminoácidos esenciales

<https://doi.org/10.3390/agriengineering5040112>

Derechos de autor: © 2023 por los autores. Titular de Licencia MDPI, Basilea, Suiza.

Editores académicos: Ray E. Sheriff y Chiew Foong Kwong

Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (CC BY) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Walter Morales-Suárez

Facultad de Ingeniería Agronómica. Universidad del Tolima, Ibagué

wmorales@ut.edu.co

Luis Daniel Daza

lddazar@ut.edu.co

Henry A. Váquiro *

havaquiro@ut.edu.co

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Trabajo de campo, diseño experimental y formulación de dietas

Este estudio se realizó en una finca comercial en San Pedro, Antioquia (Colombia). El comité universitario de bioética aprobó los protocolos y procedimientos experimentales sobre las gallinas ponedoras (Ley 03/2017). Para el trabajo de campo, se utilizaron gallinas ponedoras H&N Brown de segundo ciclo de 91 semanas de edad (1,380 gallinas). Los animales se alojaron en jaulas tipo California en condiciones ambientales y se distribuyeron en un galpón de ponedoras después de someterse a protocolos adecuados de muda y reposo [12]. En cada jaula, se colocaron 12 gallinas (576 cm²/ave), y cada jaula estaba equipada con un alimentador lateral de PVC y dos bebederos de tetina. Se utilizaron cinco jaulas como réplicas para cada tratamiento (60 aves por tratamiento).

La formulación de la dieta por tratamiento y el consumo de pienso se utilizaron para expresar la matriz de diseño como ingestas dietéticas de Lys (iLys), Met + Cys (iMetCys) y Thr (iThr) (Tabla 1) de acuerdo con la metodología y los resultados de Morales-Suárez et al. [12]. Esta metodología combinó los niveles de los tres AAes a partir de una revisión exhaustiva de la literatura utilizando un diseño compuesto central. Las 23 dietas (tratamientos) resultantes se prepararon semanalmente mediante la adición de L-lisina (98,5% de grado alimenticio), DL-metionina (99% grado alimenticio) y L-treonina (98,5% grado alimenticio) a una dieta basada en harina de maíz y de soya (Tabla Suplementaria S1). De tal manera que los niveles de Lys, Met + Cys y Thr en las dietas experimentales se ajustaron considerando los aportes de los aminoácidos sintéticos e ingredientes alimentarios. Las ponedoras se alimentaron con 115 g/gallina-día durante 20 semanas.

Diet	iLys * (mg/hen-day)	iMetCys * (mg/hen-day)	iThr * (mg/hen-day)	Diet Cost (USD/kg)
1	727.0 ± 10.0	661.9 ± 9.1	552.1 ± 7.6	0.3974
2	732.4 ± 9.6	666.8 ± 8.8	875.2 ± 11.5	0.4015
3	728.4 ± 18.0	852.1 ± 21.0	712.4 ± 17.6	0.4036
4	728.5 ± 17.2	1042.3 ± 24.6	553.2 ± 13.0	0.4058
5	736.3 ± 18.6	1053.5 ± 26.7	879.8 ± 22.3	0.4099
6	809.6 ± 11.3	736.6 ± 10.3	614.6 ± 8.6	0.4015
7	812.7 ± 18.0	739.5 ± 16.4	805.8 ± 17.9	0.4040
8	828.4 ± 22.7	982.6 ± 26.9	628.9 ± 17.2	0.4065
9	810.2 ± 11.3	961.9 ± 13.4	803.3 ± 11.2	0.4089
10	951.7 ± 17.8	673.7 ± 12.6	723.7 ± 13.6	0.4033
11	947.4 ± 19.0	861.7 ± 17.3	559.4 ± 11.2	0.4055
12	938.4 ± 13.6	853.6 ± 12.4	713.6 ± 10.3	0.4075
13	943.7 ± 12.2	858.3 ± 11.1	876.8 ± 11.3	0.4095
14	935.1 ± 12.9	1040.2 ± 14.3	711.0 ± 9.8	0.4117
15	1076.9 ± 23.4	751.2 ± 16.3	626.8 ± 13.6	0.4061
16	1066.3 ± 15.7	743.9 ± 10.9	810.7 ± 11.9	0.4085
17	1058.8 ± 14.6	963.9 ± 19.5	616.3 ± 12.5	0.4111
18	1058.5 ± 14.6	963.6 ± 13.3	804.7 ± 11.1	0.4135
19	1164.7 ± 30.3	674.3 ± 17.7	562.5 ± 14.7	0.4052
20	1143.1 ± 15.8	661.9 ± 9.1	868.8 ± 12.0	0.4092
21	1154.2 ± 18.4	858.7 ± 13.7	771.9 ± 11.4	0.4114
22	1153.3 ± 20.7	1049.5 ± 18.8	557.0 ± 10.0	0.4135
23	1159.5 ± 16.9	1055.1 ± 15.4	881.2 ± 12.3	0.4176

* Values expressed as means ± standard deviations (n = 100). Source: Morales-Suárez et al. [12].

Tabla 1. Ingesta de aminoácidos esenciales en las ponedoras H&N Brown de segundo ciclo durante 20 semanas y el costo de la dieta. * Valores expresados como medias ± desviaciones típicas (n = 100). Fuente: Morales-Suárez et al. [12].

De esta manera, el experimento consideró la dependencia de FCK con cuatro factores: iLys, iMetCys, iThr y el tiempo.

2.2. Resultados zootécnicos y económicos

El índice de conversión alimenticia (CR por sus siglas en inglés) se calculó semanalmente como el cociente entre kilogramos de ingesta de pienso y kilogramos de huevos.

El costo del pienso por kilogramo de huevo (FCK por sus siglas en inglés) se calculó considerando el costo de las dietas (Tabla 1) calculado a partir del costo local de las materias primas en USD a marzo de 2021 (Tabla 2). Para cada tratamiento, se estimó semanalmente el FCK en USD/kg de huevo multiplicando el costo por kilogramo de pienso y el índice de conversión alimenticia .

2.3. Modelo matemático.

El FCK se modeló en función de la ingesta dietaria de los AAEs (iLys, iMetCys, iThr) y el tiempo (t), utilizando modelos polinómicos multivariantes y la RNA.

Los modelos polinómicos de segundo (Ecuación (1)) y de tercer orden (Ecuación (2)) se evaluaron mediante regresión escalonada para incluir solo términos estadísticamente significativos con un nivel de confianza del 95% [20].

$$FCK = \beta_0 + \sum_{j=1}^4 \beta_j x_j + \sum_{j=1}^3 \sum_{k>j}^4 \beta_{jk} x_j x_k + \sum_{j=1}^4 \beta_{jj} x_j^2 \quad (1)$$

$$FCK = \beta_0 + \sum_{j=1}^4 \beta_j x_j + \sum_{j=1}^3 \sum_{k>j}^4 \beta_{jk} x_j x_k + \sum_{j=1}^4 \beta_{jj} x_j^2 + \sum_{j=1}^2 \sum_{k>j}^3 \sum_{l>k}^4 \beta_{jkl} x_j x_k x_l + \sum_{j=1}^4 \sum_{k \neq j}^4 \beta_{jkk} x_j x_k^2 + \sum_{j=1}^4 \beta_{jjj} x_j^3 \quad (2)$$

Table 2. Cost of diet ingredients.

Ingredient	Cost (USD/kg)
Corn	0.29
Soybean meal	0.53
Palm oil	0.93
Corn gluten	0.92
Calcium carbonate	0.05
Monocalcium phosphate	0.62
Bentonite	0.06
Choline chloride	1.15
Salt	0.08
Vitamin premix	11.78
Mineral premix	6.42
L-lysine *	1.73
DL-Methionine *	2.56
L-threonine *	1.50
Tryptophan	9.96
Arginine	15.37
Sodium bicarbonate	0.44
Valine	4.20

Tabla 2. Costo de los ingredientes de la dieta. Los aminoácidos sintéticos son utilizados como suplementos dietarios.

En este caso, el FCK es el costo de pienso por kilogramo de huevo (USD/kg de huevo); los términos X representan la ingesta dietética de los AAEs (iLys, iMetCys, iThr) y el

tiempo; y los términos β son los parámetros asociados con términos lineales, cuadráticos, cúbicos y de los términos de productos cruzados. Además, se utilizaron arquitecturas de la RNA de retroalimentación (Ecuación (3)) (Figura 1a) y de cascada (Ecuación (4)) (Figura 1b) con una capa oculta para evaluar la dependencia de la FCK de los factores independientes. Estas arquitecturas de red se han utilizado debido a su capacidad de predicción para problemas no lineales multivariados complejos y su capacidad de modelado para diversos fenómenos naturales que son muy difíciles de manejar a través de técnicas clásicas [21]. Se evaluaron de cinco a once neuronas y cuatro funciones de transferencia (tangente hiperbólica, logaritmo sigmoide, base radial y softmax) (ecuaciones (5)-(8), respectivamente) para cada arquitectura de la RNA [22].

$$FCK = w_{ho} \times f + b_o \quad (3)$$

$$FCK = w_{ho} \times f + w_{io} \times x + b_o \quad (4)$$

$$f = \frac{2}{1 + e^{-2(w_{ih} \times x + b_h)}} - 1 \quad (5)$$

$$f = \frac{1}{1 + e^{-(w_{ih} \times x + b_h)}} \quad (6)$$

$$f = e^{-(w_{ih} \times x + b_h)^2} \quad (7)$$

$$f = \frac{e^{(w_{ih} \times x + b_h)}}{\sum e^{(w_{ih} \times x + b_h)}} \quad (8)$$

Aquí, el FCK es la estimación del resultado, que son los pesos entre las capas oculta y la capa de salida, f es la función de transferencia, w_{io} son los pesos entre las capas de entrada y salida en la arquitectura de cascada hacia adelante, x es el predictor de entrada (iLys, iMetCys, iThr, t), b_o es el sesgo de la capa de salida, w_{ih} son los pesos entre las capas de entrada y la oculta, y b_h son los sesgos de la capa oculta.

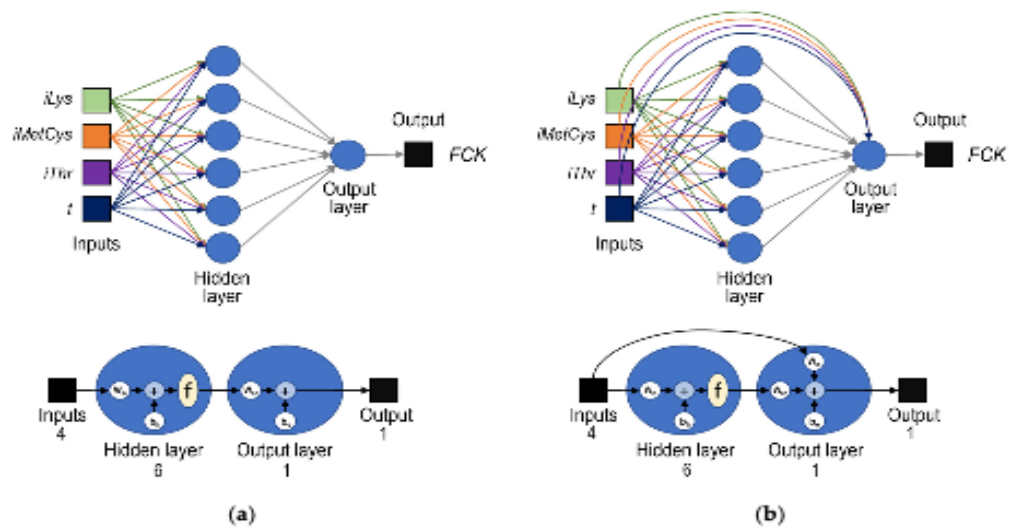


Figura 1. Arquitecturas de retroalimentación (a) y cascada (b) utilizadas en el modelo de la red neuronal artificial: Figura 1. Los ejemplos ilustran redes neuronales de cuatro insumos y un producto con seis neuronas en una capa oculta.

2.4 Entrenamiento, Validación y Análisis Estadístico

Para el análisis de dos conjuntos de datos se utilizó MATLAB ®R2019a (The MathWorks Inc., Natick, MA, EE. UU.): el grupo de entrenamiento con 1380 registros de datos (tres réplicas de tratamiento) y el grupo de validación con 920 registros de datos (dos réplicas de tratamiento). Los parámetros estadísticamente significativos de los modelos polinómicos multivariados (Las ecuaciones (1) y (2)) se obtuvieron a través de la función MATLAB "ajuste paso a paso". Los parámetros de los modelos RNA (sesgos y pesos) se identificaron utilizando la función "trainbr" del MATLAB®, que evita el sobreajuste en el proceso de entrenamiento a través de un algoritmo de regularización Bayesiano [23].

La precisión, y lo apropiado para el ajuste y la desviación de los modelos se evaluaron examinando el error cuadrático medio (RMSE por sus siglas en inglés) (Ecuación (9)), el coeficiente de determinación ajustado (R^2 adj) (Ecuación (10)) y el sesgo (Ecuación (11)), respectivamente. Mientras tanto, la calidad de los modelos se determinó empleando el Criterio de Información de Akaike (AIC) (Ecuación (12)) [24]. Los modelos con el mejor ajuste fueron evaluados para adecuar los estimativos usando el análisis residual.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (FCK_i^* - FCK_i)^2}{n}} \quad (9)$$

$$R_{adj}^2 = 1 - S_{yx}^2 / S_y^2 \quad (10)$$

$$bias = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (FCK_i^* - FCK_i) \quad (11)$$

$$AIC = n \log \left[\det \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \epsilon \epsilon^T \right) \right] + 2n_p + n[\log(2\pi) + 1] \quad (12)$$

Aquí, FCK_i^* y FCK_i representan los valores observados y predichos, respectivamente; S_y y S_{yx} son las desviaciones estándar de las estimaciones de la muestra y del modelo, respectivamente; ϵ es el error de predicción; y n y n_p son los números de puntos de datos y parámetros estimados, respectivamente. Se utilizó un valor alto de R_{adj}^2 y valores bajos de RMSE y AIC para seleccionar el mejor modelo.

2.5 Optimización

Se formuló un problema de optimización para encontrar los valores de $iLys$, $iMetCys$ e $iThr$ que minimizan FCK (Ecuación (13)) a las 4, 8, 12, 16 y 20 semanas. La optimización se resolvió para cada una de las semanas mencionadas anteriormente utilizando la función MATLAB® "fmincon" y restringiendo los límites a los valores máximos y mínimos de $iLys$, $iMetCys$ e $iThr$ utilizados en el experimento (Tabla 1).

Minimizando FCK($iLys$, $iMetCys$, $iThr$) con lo que se obtiene:

$$t \begin{cases} iLys_{min} \leq iLys \leq iLys_{max} \\ iMetCys_{min} \leq iMetCys \leq iMetCys_{max} \\ iThr_{min} \leq iThr \leq iThr_{max} \end{cases} \quad (13)$$

Referencias

1. FAO. The Future of Food and Agriculture—Alternative Pathways to 2050; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 2018.
2. Morris, S.S.; Beesabathuni, K.; Headey, D. An Egg for Everyone: Pathways to Universal Access to One of Nature's Most Nutritious Foods. *Matern. Child Nutr.* 2018, 14, e12679.
3. Kuang, H.; Yang, F.; Zhang, Y.; Wang, T.; Chen, G. The Impact of Egg Nutrient Composition and Its Consumption on Cholesterol Homeostasis. *Cholesterol* 2018, 2018, 6303810.
4. Marventano, S.; Godos, J.; Tieri, M.; Ghelfi, F.; Titta, L.; Lafranconi, A.; Gambera, A.; Alonzo, E.; Sciacca, S.; Buscemi, S. Egg Consumption and Human Health: An Umbrella Review of Observational Studies. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 2020, 71, 325–331.
5. FAO. FAOSTAT Statistical Database—Crops and Livestock Products. Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#> (accessed on 22 August 2023).
6. Wongnaa, C.A.; Mbroh, J.; Mabe, F.N.; Abokyi, E.; Debrah, R.; Dzaka, E.; Cobbinah, S.; Poku, F.A. Profitability and Choice of Commercially Prepared Feed and Farmers' Own Prepared Feed among Poultry Producers in Ghana. *J. Agric. Food Res.* 2023, 12, 100611.
7. Filho, R.L.A.; Milbradt, E.L.; Okamoto, A.S.; Silva, T.M.; Vellano, I.H.B.; Gross, L.S.; Oro, C.S.; Hataka, A. Salmonella Enteritidis Infection, Corticosterone Levels, Performance and Egg Quality in Laying Hens Submitted to Different Methods of Molting. *Poult. Sci.* 2019, 98, 4416–4425.
8. Junqueira, O.M.; de Laurentiz, A.C.; da Silva Filardi, R.; Rodrigues, E.A.; Casartelli, E.M.C. Effects of Energy and Protein Levels on Egg Quality and Performance of Laying Hens at Early Second Production Cycle. *J. Appl. Poult. Res.* 2006, 15, 110–115.
9. Macelline, S.P.; Toghyani, M.; Chrystal, P.V.; Selle, P.H.; Liu, S.Y. Amino Acid Requirements for Laying Hens: A Comprehensive Review. *Poult. Sci.* 2021, 100, 101036.
10. Mehri, M. Optimization of Response Surface and Neural Network Models in Conjugation with Desirability Function for Estimation of Nutritional Needs of Methionine, Lysine, and Threonine in Broiler Chickens. *Poult. Sci.* 2014, 93, 1862–1867.
11. Min, Y.N.; Liu, S.G.; Qu, Z.X.; Meng, G.H.; Gao, Y.P. Effects of Dietary Threonine Levels on Growth Performance, Serum Biochemical Indexes, Antioxidant Capacities, and Gut Morphology in Broiler Chickens. *Poult. Sci.* 2017, 96, 1290–1297.

12. Morales-Suárez, W.; Ospina-Rojas, I.C.; Méndez-Arteaga, J.J.; do Nascimento Ferreira, A.E.; Váquiro-Herrera, H.A. Multivariate Modeling Strategies to Predict Nutritional Requirements of Essential Amino Acids in Semiheavy Second-Cycle Hens. *Rev. Bras.Zootec.* 2021, 50, e20200262.
13. Soares, L.; Sakomura, N.K.; Dorigam, J.C.d.P.; Liebert, F.; Sunder, A.; do Nascimento, M.Q.; Leme, B.B. Optimal In-Feed Amino Acid Ratio for Laying Hens Based on Deletion Method. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 2019, 103, 170–181.
14. Astill, J.; Dara, R.A.; Fraser, E.D.G.; Roberts, B.; Sharif, S. Smart Poultry Management: Smart Sensors, Big Data, and the Internet of Things. *Comput. Electron. Agric.* 2020, 170, 105291.
15. Faridi, A.; Gitoe, A.; Donato, D.C.Z.; France, J.; Sakomura, N.K. Broiler Responses to Digestible Threonine at Different Ages: A Neural Networks Approach. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 2016, 100, 738–747.
16. Galeano-Vasco, L.; Galvan, I.M.; Aler, R.; Cerón-Muñoz, M.F. Forecasting Egg Production Curve with Neural Networks. *Arch. Zootec.* 2018, 67, 81–86.
17. Ahmad, H.A. Egg Production Forecasting: Determining Efficient Modeling Approaches. *J. Appl. Poult. Res.* 2011, 20, 463–473.
18. Ojo, R.O.; Ajayi, A.O.; Owolabi, H.A.; Oyedele, L.O.; Akanbi, L.A. Internet of Things and Machine Learning Techniques in Poultry Health and Welfare Management: A Systematic Literature Review. *Comput. Electron. Agric.* 2022, 200, 107266.
19. De Almeida, L.G.B.; Oliveira, E.B.; Furian, T.Q.; Borges, K.A.; da Rocha, D.T.; Salle, C.T.P.; Moraes, H.L.d.S. Artificial Neural Networks on Eggs Production Data Management. *Acta Sci. Vet.* 2020, 48, 1732.
20. Ameer, K.; Bae, S.-W.; Jo, Y.; Lee, H.-G.; Ameer, A.; Kwon, J.-H. Optimization of Microwave-Assisted Extraction of Total Extract, Stevioside and Rebaudioside-A from *Stevia rebaudiana* (Bertoni) Leaves, Using Response Surface Methodology (RSM) and Artificial Neural Network (ANN) Modelling. *Food Chem.* 2017, 229, 198–207.
21. Wang, S.; Chung, F.-L.; Wang, J.; Wu, J. A Fast Learning Method for Feedforward Neural Networks. *Neurocomputing* 2015, 149, 295–307.

22. Morales-Suárez, W.; Elliott, S.; Váquiro-Herrera, H.A. Multivariate Analysis of Sources of Polyunsaturated Fatty Acids, Selenium, and Chromium on the Productive Performance of Second-Cycle Laying Hens. *Rev. Bras. Zootec.* 2022, 51, e20210204.
23. Daza, L.D.; Homez-Jara, A.; Solanilla, J.F.; Váquiro, H.A. Effects of Temperature, Starch Concentration, and Plasticizer Concentration on the Physical Properties of Ulluco (*Ullucus tuberosus* Caldas)-Based Edible Films. *Int. J. Biol. Macromol.* 2018, 120, 1834–1845.
24. Mathworks. MATLAB User's Guide; The Mathworks Inc.: Natick, MA, USA, 2019. *AgriEngineering* 2023, 5 1845
25. Hy-Line. Management Guide for Hy-Line Brown Commercial Layers; Hy-Line International: Des Moines, IO, USA, 2014.
26. Schneider, S.E. Exigência de Lisina Digestível Para Poedeiras Semipesadas. Master's Thesis, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, Paraná, Argentina, 2011.
27. Rostagno, H.S.; Texeira Albino, L.F.; Hannas, M.I.; Lopes Donzele, J.; Sakomura, N.; Perazzo, F.G.; de Oliveira Brito, C. *Tablas Brasileñas Para Aves y Cerdos: Composición de Alimentos y Requerimientos Nutricionales*, 4th ed.; Universidad Federal de Viçosa: Viçosa, MG, Brazil, 2017; ISBN 9788581791227.
28. Schmidt, M.; Gomes, P.C.; Teixeira, L.F.; Nunes, R.V.; Brumano, G. Níveis Nutricionais de Metionina+ Cistina Digestível Para Poedeiras Semipesadas No Segundo Ciclo de Produção. *Rev. Bras. Zootec.* 2009, 38, 1962–1968.
29. Kakhki, R.A.M.; Golian, A.; Zarghi, H. Effect of Dietary Digestible Lysine Concentration on Performance, Egg Quality, and Blood Metabolites in Laying Hens. *J. Appl. Poult. Res.* 2016, 25, 506–517.
30. Polese, C.; Nunes, R.V.; Vilela, C.G.; Murakami, A.E.; Agustini, M.A.B.; Takahashi, S.E.; Vilela, V.O.; Souza, C.; Schneider, S.E. Quantidade de Metionina+ Cistina Digestível Para Poedeiras Semipesadas de 75 a 91 Semanas de Idade. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 2012, 64, 1682–1690.
31. Agustini, M.A.B.; Nunes, R.V.; Vilela, C.G.; Takahashi, S.E.; Vilela, V.O.; Bueno, R.S.; Polese, C. Níveis Nutricionais de Treonina Digestível Para Poedeiras Semipesadas de 75 a 90 Semanas de Idade. *Semin. Cienc. Agrar.* 2014, 35, 3449–3456.

32. Schmidt, M.; Gomes, P.C.; Rostagno, H.S.; Albino, L.F.T.; Nunes, R.V.; Cupertino, E.S.; Gomes, P.C.; Albino, L.F.T.; Cupertino, E.S.; Nunes, R.V.; et al. Exigências Nutricionais de Treonina Digestível Para Poedeiras Semipesadas No Segundo Ciclo de Produção. *Rev. Bras. Zootec.* 2010, 39, 1099–1104.
33. Sariozkan, S.; Kara, K.; Güçlü, B.K. Applicability of Non-Feed Removal Programs to Induce Molting Instead of the Conventional Feed Withdrawal Method in Brown Laying Hens. *Braz. J. Poult. Sci.* 2016, 18, 535–542.
34. Morales, W.; Rodríguez, V.; Verjan, N. Parámetros Productivos y Económicos de Gallinas Ponedoras ISA Brown En Segundo Ciclo de Producción Suplementadas Con Aminoácidos No Esenciales. *Rev. Investig. Vet. Perú* 2018, 29, 533–543.
35. Gongruttananun, N.; Guntapa, P.; Saengkudrua, K.; Boonkaewwan, C. Effects of a Short-Term Molt Using Cassava Meal, Broken Rice, or Corn Meal on Plasma Thyroxin Concentrations, Organ Weights and Intestinal Histopathology in Older (95 Wk) Laying Hens. *Agric. Nat. Resour.* 2017, 51, 526–531.
36. Domingues, C.H.d.F.; Sgavioli, S.; Praes, M.F.F.M.; Santos, E.T.; Castiblanco, D.M.C.; Petrolli, T.G.; Duarte, K.F.; Junqueira, O.M. Lisina e Metionina+ Cistina Digestíveis Sobre o Desempenho e Qualidade de Ovos de Poedeiras Comerciais: Revisão. *Pubvet* 2016, 10, 448–512.
37. Safari-Aliqiarloo, A.; Faghih-Mohammadi, F.; Zare, M.; Seidavi, A.; Laudadio, V.; Selvaggi, M.; Tufarelli, V. Artificial Neural Network and Non-Linear Logistic Regression Models to Fit the Egg Production Curve in Commercial-Type Broiler Breeders. *Eur. Poult. Sci.* 2017, 81.
38. Akilli, A.; Gorgulu, O. Comparative Assessments of Multivariate Nonlinear Fuzzy Regression Techniques for Egg Production Curve. *Trop. Anim. Health Prod.* 2020, 52, 2119–2127.
39. Carvalho, T.S.M. Metionina+ Cistina Digestível Na Dieta de Poedeiras Comerciais e Sua Influência Sobre o Desempenho, Qualidade e Perfil Aminoácídico Dos Ovos e Avaliação Econômica. Master's Thesis, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil, 2017.

40. Lelis, G.; Tavernari, F.d.C.; Calderano, A.; Costa, F.A.D.; Albino, L.F.T.; Rostagno, H.; Brito, C.; de Araújo, W.A.G.; Júnior, V.R. Digestible Threonine-to-Lysine Ratio in Diets for Brown Egg-Laying Hens. *J. Appl. Poult. Res.* 2019, 28, 145–152.
41. Barbosa, L.M.; da Costa, P.R.d.S.; Silva, L.G.L.; de Freitas, P.V.D.X.; de Almeida Brainer, M.M.; Modesto, K.P. Digestible Threonine: Lysine Ratios for Light Laying Hens from 29 to 45 Weeks. *Rev. Bras. Ciências Agrárias* 2017, 12, 256–260.
42. Castro, M.R.; Pinheiro, S.R.F.; Oliveira, R.G.; Abreu, L.R.A.; Mota, L.F.M.; Miranda, J.A. Digestible Threonine to Lysine Ratios for Meat-Type Quails. *Braz. J. Poult. Sci.* 2020, 22, eRBCA-2017-0636.
43. Fouad, A.M.; Zhang, H.X.; Chen, W.; Xia, W.G.; Ruan, D.; Wang, S.; Zheng, C.T. Estimation of L-Threonine Requirements for Longyan Laying Ducks. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 2017, 30, 206.