







Macroestructura del huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de proteína cruda

Macrostructure of hen egg from birds fed different levels of crude protein

Leodan Tadeo Rodríguez-Ortega¹ ,
Carmen Elena Segura-Soto² ,
Arturo Pro-Martínez³ ,
Eliseo Sosa-Montes² ,
José Isidro Alejos-de la Fuente² ,
Fernando González-Cerón^{3*} 

¹Universidad Politécnica de Francisco I. Madero. Domicilio conocido s/n, CP. 42660. Tepatepec, Hidalgo, México.

²Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México - Texcoco, CP. 56230. Chapingo, Texcoco, Estado de México, México.

³Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco Km. 36.5, CP. 56230. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.

*Autor de correspondencia: fgceron@colpos.mx

Artículo científico

Recibido: 27 de febrero 2021

Aceptado: 30 de septiembre 2021

Como citar: Rodríguez-Ortega LT, Segura-Soto CE, Pro-Martínez A, Sosa-Montes E, Alejos-de la Fuente JI, González-Cerón F (2021) Macroestructura del huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de proteína cruda. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios Núm. Esp. II: e2917. DOI: 10.19136/era.a8nII.2917

RESUMEN. El nivel de proteína cruda (PC) del alimento se relaciona con su costo y puede afectar características físicas del huevo. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de niveles decrecientes de PC (18, 16 y 12%) en variables asociadas a la macroestructura del huevo. Cada dieta fue asignada aleatoriamente a 10 repeticiones de cinco aves cada una. Se utilizaron gallinas Bovans White de 131 semanas de edad en segundo ciclo de producción. Durante el periodo experimental se realizaron 15 muestreos (uno cada tercer día), seleccionando al azar tres huevos por repetición para evaluar en cada uno, las variables: peso (P, g), largo (L, mm), ancho (A, mm), índice de forma (IF), volumen (VOL, cm³), área (AR, cm²), masa de albumen (MALB, g), masa de yema (MYEM, g), masa de cáscara (MCAS, g), porcentaje de albumen (%ALB, %), porcentaje de yema (%YEM, %) y porcentaje de cáscara (%CAS, %). Se evaluaron 1 800 huevos en total, 600 por dieta. Los datos se analizaron mediante la metodología de los modelos lineales. El menor nivel de PC en la dieta (1 %) redujo ($P < 0.05$) P, L, A, VOL, AR, MALB y %ALB, pero aumentó IF. No se detectaron diferencias para estas variables entre las dietas con 16 y 18% de PC. Los valores de MCAS y %CAS no fueron diferentes entre tratamientos. Se concluye que 12% de PC en la dieta reduce la magnitud de algunas variables asociadas a la macroestructura del huevo sin afectar la masa y proporción de cascarón.

Palabras clave: Bovans white, características físicas, huevo.

ABSTRACT. Crude protein (PC) content in feed is related to its cost and it can affect physical characteristics of the hen egg. The objective of this study was to evaluate the effect of decreasing levels of PC (18, 16, and 12%) on variables associated to the macrostructure of hen egg. Each diet was randomly assigned to 10 replicates of five birds each. Second-cycle Bovans White hens aged 131 weeks were used. Fifteen samplings (one sampling every-other-day) were implemented during the experiment. In each sampling, three eggs were randomly selected from each replicate and diet. The following variables were evaluated in each egg: weight (P, g), length (L, mm), width (A, mm), shape index (IF), volume (VOL, cm³), area (AR, cm²), albumen mass (MALB, g), yolk mass (MYEM, g), egg-shell mass (MCAS, g), albumen percentage (%ALB, %), yolk percentage (%YEM, %) and egg-shell percentage (%CAS, %). A total of 1,800 eggs, 600 per diet, were evaluated. Data were analyzed by linear models methodology. The diet with the lowest PC level (12 %) lead to lower values ($P < 0.05$) on P, L, A, VOL, AR, MALB, and %ALB; however, IF increased. No differences were detected between diets with 16 and 18% PC for those variables. Values of MCAS and %CAS were not different among treatments. In conclusion, diet with 12% PC reduced the value of several variables associated to the macrostructure of hen egg but it did not affect egg-shell mass and percentage.

Key words: Bovans white, physical characteristics, hen egg.

INTRODUCCIÓN

La avicultura es una de las actividades más importantes en México, debido a la generación de proteína animal en forma de carne y huevo. El huevo es un alimento con un elevado valor nutritivo que destaca por su diversidad de nutrientes y elevada digestibilidad, apropiado en la dieta de personas adultas mayores e infantes. Un huevo crudo y recién puesto contiene: 76% de agua, 12.6% de proteína, 9.5% de grasas, 0.7% de carbohidratos y 1.1% de cenizas (Réhault-Godbert *et al.* 2019). Sin embargo, la avicultura enfrenta problemas muy serios debido a los elevados costos de alimentación, estos representan hasta el 70% de los costos de producción (Orozco *et al.* 2004). La reducción de los niveles de proteína cruda (PC) en los alimentos para gallinas de postura puede presentar una alternativa para minimizar los costos de alimentación (Tarasewicz *et al.* 2007). La proteína en las aves permite un adecuado mantenimiento, crecimiento, producción y mantiene las funciones inmunológicas (Alagawany *et al.* 2016). Al respecto, Ribeiro *et al.* (2016) observaron que niveles bajos de proteína en la alimentación de gallinas afecta el peso del cascarón. El cascarón es el responsable de la forma del huevo, de preservar la integridad del embrión, es la primera barrera contra microorganismos patológicos y es el empaque natural de la clara y la yema (Hunton 2005). La estructura física del huevo es un factor importante en la industria avícola y en la demanda del consumidor, los huevos con cascarón roto, pequeños o deformes son considerados de mala calidad. Por lo anterior el objetivo del presente trabajo fue evaluar niveles decrecientes de PC en la macroestructura del huevo de gallinas de segundo ciclo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar y periodo de estudio

El experimento se llevó a cabo de septiembre a octubre de 2020, en la Granja Avícola Experimental del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, localizada en el km 18.5 de la carretera Texcoco-Lechería, Texcoco, Estado de

México. El lugar se ubica a 2, 278 msnm, en las coordenadas 19° 29' 13.7" LN y 98° 53' 48.0" LO. El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano (C(wo)(w)b(i')) de acuerdo con García (2004).

Animales y manejo

Se utilizaron 150 gallinas Bovans White de 131 semanas de edad, en su segundo ciclo de producción. La parvada se ubicó en una caseta de ambiente natural con cortinas laterales móviles. Las aves se alojaron individualmente en jaulas de 30 cm de ancho, 45 cm de fondo, 36 cm de alto en la parte posterior y 41 cm de alto en la parte frontal. Las jaulas están acopladas en módulos piramidales de dos niveles (cinco jaulas por nivel y 20 jaulas por módulo). Cada jaula cuenta con 30 cm de comedero de lámina y un bebedero automático de copa. La parvada se mantuvo bajo un programa de 16 h de luz y 8 h de oscuridad. El alimento y el agua se ofrecieron *ad libitum* durante el periodo de estudio.

Tratamientos y variables

Se evaluaron tres dietas: 18% PC, dieta con 18% de proteína cruda (PC); 16% PC, dieta con 16% de PC y 12% PC, dieta con 12% de PC. Se cubrieron los requerimientos nutricionales de las aves de acuerdo al NRC (1994), la composición de las dietas se observa en el Tabla 1. Cada dieta se asignó de forma aleatoria a diez repeticiones de cinco aves cada una. Se implementó un periodo de adaptación a las dietas experimentales de siete días, con incrementos graduales hasta llegar al 100% de inclusión del alimento experimental correspondiente. Todos los huevos de cada repetición y dieta se colectaron diariamente (9:00, 12:00, 15:00 y 18:00 h). Cada tercer día, a partir del segundo día de iniciado el periodo experimental, se realizó un muestreo seleccionando al azar tres huevos por repetición para evaluar en cada uno de ellos, el mismo día de puesta y a temperatura ambiente, las siguientes variables: peso (P, g), largo (L, mm), ancho (A, mm), índice de forma (IF), volumen (VOL, cm³), área (AR, cm²), masa de albumen (MALB, g), masa de yema (MYEM, g), masa de cáscara (MCAS), porcentaje de albumen (%ALB, %), porcentaje de yema (%YEM, %) y porcentaje de cáscara.

Tabla 1. Composición de las dietas experimentales para gallinas alimentadas con diferentes niveles de proteína cruda (PC).

Ingrediente (%)	Dietas		
	12% PC	16% PC	18% PC
Salvado de trigo (17.01 %PC)	8.000	8.000	8.000
Maíz (7.28 %PC)	71.315	54.289	48.220
Pasta de soya (46.93 %PC)	6.971	22.464	27.679
Aceite de soya	0.000	3.302	4.306
Carbonato de calcio	9.802	9.757	9.742
Fosfato dicálcico	1.072	0.993	0.968
L-Lisina	0.514	0.000	0.000
DL-Metionina	0.271	0.169	0.135
L-Triptófano	0.089	0.000	0.000
L-Treonina	0.240	0.000	0.000
L-Valina	0.290	0.000	0.000
L-Arginina	0.485	0.000	0.000
Premezcla de vitaminas y minerales ¹	0.300	0.300	0.300
Cloruro de sodio	0.300	0.300	0.300
Pigmento	0.350	0.350	0.350
Arena	0.000	0.075	0.000
Total	100.000	100.000	100.000
Análisis calculado			
Energía metabolizable (kcal kg ⁻¹)	2754	2750	2750
Proteína cruda (%)	11.98	16.00	18.00
Ca (%)	4.00	4.01	4.00
Fósforo disponible (%)	0.29	0.29	0.29
Arginina (%)	1.05	1.05	1.21
Isoleucina (%)	0.37	0.66	0.75
Lisina (%)	0.81	0.81	0.95
Metionina (%)	0.44	0.40	0.40
Metionina + cistina (%)	0.63	0.67	0.69
Triptófano (%)	0.18	0.19	0.22
Treonina (%)	0.59	0.59	0.67
Valina (%)	0.75	0.75	0.85
Fibra cruda (%)	2.40	2.67	2.75

¹ Proporcionado por kg de dieta: vitamina A, 9,000 UI; vitamina D₃, 2,500 UI; vitamina E, 20 UI; vitamina K, 3.0 mg; vitamina B₂, 8.0 mg; vitamina B₁₂, 0.015 mg; ácido pantoténico, 10 mg; ácido nicótico, 60 mg; niacina, 40 mg; ácido fólico, 0.5 mg; colina, 300 mg; D-biotina, 0.055 mg; Tiamina, 2.0 mg. Fe, 65.0 mg; Zn, 100 mg; Mn, 100 mg; Cu, 9.0 mg; Se, 0.3 mg; I, 0.9 mg. kcal = kilocalorías; kg = kilogramos.

cara (%CAS, %). Se realizó un total de 15 muestreos utilizando 1 800 huevos, 600 por dieta. El L y A se determinaron mediante un vernier digital (Modelo HER-411, STEREN) con rango de medición de 0 a 150 mm y resolución de 0.1 mm. El peso del huevo se obtuvo con una báscula digital con capacidad de 200 g y resolución de 0.01 g (Modelo MH-200, Marca MKS Tools).

Largo, ancho e índice de forma: el largo (L) se midió sobre el eje longitudinal del huevo y el ancho (A) sobre el eje transversal a nivel del ecuador. El índice de forma (IF) se calculó a través de la expresión $IF = A / L$, de acuerdo a Duman *et al.* (2016). Volumen y área: El volumen (VOL) y el área (AR) se calcu-

laron mediante las expresiones $VOL = 0.913 P$ y $AR = 4.558 P^{0.67}$, respectivamente, de acuerdo a Etches (1996); en ambos casos, el valor de P correspondió al peso del huevo. Masa y porcentaje de albumen, yema y cáscara: Estas variables se determinaron pesando individualmente cada porción en una báscula digital con capacidad de 200 g y resolución de 0.01 g (Modelo MH-200, Marca MKS Tools, China). Posteriormente, cada valor de MALB, MYEM y MCAS se dividió entre el peso del huevo correspondiente, el cociente se multiplicó por 100 para obtener las variables porcentaje de albumen (%ALB), porcentaje de yema (%YEM) y porcentaje de cáscara (%CAS).

Análisis estadístico

El diseño experimental fue un completamente al azar, con tres tratamientos y 10 repeticiones por tratamiento. Los datos fueron analizados con el procedimiento PROC GLM (SAS versión 9.0), la comparación de medias entre tratamientos se realizó con la prueba de Tukey a una diferencia estadística de $P < 0.05$.

RESULTADOS

El peso, largo y ancho del huevo fue similar ($P \geq 0.05$) en las gallinas alimentadas con 18 y 16% PC, en contraste, dichas variables fueron de menor magnitud ($P < 0.05$) en el huevo de las gallinas alimentadas con 12% PC, respecto a los otros dos tratamientos (Tabla 2). Como se observa en el Tabla 3, el índice de forma fue mayor ($P < 0.05$) en el huevo de las aves alimentadas con 12% PC en comparación con el huevo de las aves de 18 y 16% PC. En cambio, el volumen fue menor en el huevo de gallinas que consumieron 12% PC comparado con las aves alimentadas con 16 y 18% PC, mientras que, el área de huevo fue similar ($P \geq 0.05$) entre tratamientos. Las variables IF y VOL fueron similares ($P \geq 0.05$) en el huevo de gallinas alimentadas con 18 y 16% PC. La masa del albumen del huevo de gallinas alimentadas con 18 y 16% de proteína fue similar ($P \geq 0.05$), por el contrario, la MALB del huevo de gallinas que consumieron la dieta 12% PC fue menor ($P < 0.05$) que el de las gallinas alimentadas con 18 y 16% PC. Se observaron valores mayores ($P < 0.05$) de MYEM en el huevo de las aves alimentadas con 12 y 16 %PC, mientras que el %YEM fue mayor en el huevo de las aves del tratamiento con 12%PC y menor en el huevo del tratamiento con 18%PC. Finalmente, la MCAS y %CAS no fueron diferentes ($P \geq 0.05$) entre las dietas evaluadas (Tabla 4).

DISCUSIÓN

La calidad y formulación de la dieta es un factor importante en la producción avícola, especialmente considerando que del 70 al 75% los costos de

producción de huevo se deben a los gastos de alimentación (Shim *et al.* 2013). Por lo tanto, reducir la proteína de la dieta tiene el objetivo de minimizar los costos de producción sin afectar la producción y características del huevo, Burley *et al.* (2013) observaron que al disminuir la proteína en la dieta disminuyó el costo de la dieta e incremento el ingreso comparado con el uso de dietas altas en proteína. La proteína es un nutriente vital en la alimentación de gallinas de postura, ésta compuesta por aminoácidos unidos por enlaces peptídicos. Los cuales participan en la formación del músculo, plumas, hormonas, enzimas y en la formación de la clara o albumen del huevo (Alagawany *et al.* 2016). En este trabajo se observó que disminuir la proteína de la dieta hasta 16% no afectó el peso, largo y ancho del huevo, lo que coincide con Junqueira *et al.* (2006) quienes reportaron que hasta 16% de proteína en la dieta de gallinas no ocasiona cambios significativos en el peso de huevo (68.96, 70.20 y 69.08 g) y grosor del cascarón (0.348, 0.349 y 0.352 mm), en comparación con aves que recibieron dietas con 18 y 20% PC. Sin embargo, se encontró que reducir hasta el 12% de proteína se afectó el peso, largo y ancho de huevo, lo que concuerda con Torki *et al.* (2014) quienes observaron que disminuir la proteína en la dieta de gallinas de postura a 12% disminuyó la producción de huevo en nueve unidades porcentuales con respecto a las aves alimentadas con 16.5% de proteína (70 vs 79.1%). Ya que 12% de proteína en la dieta no abastece las necesidades de proteína en gallinas de postura, lo que afecta el peso de huevo de forma negativa. Asimismo, Shim *et al.* (2013) observaron que dietas con menos de 16% de PC se afectó el peso de huevo y la producción de huevos por día. Mientras que Meluzzi *et al.* (2010) reportan que 13% PC disminuyó el peso de huevo.

El índice de forma del huevo se define como la relación entre el ancho y el largo del huevo, y es un criterio importante para determinar la calidad del huevo (Duman *et al.* 2016). En esta investigación, el IF fue mayor en el huevo de las gallinas alimentadas con 12% PC, probablemente debido a que el dividendo (ancho) permaneció en los 43 mm, mientras que el divisor (largo) disminuyó (57 mm), por

tal motivo el cociente fue mayor en comparación con los otros dos tratamientos (Tabla 3). No obstante, el índice de forma del huevo en los tres tratamientos fue normal, los valores coinciden con la escala de IF propuesta por Altuntas y Sekeroglu (2008), quienes indican que un IF de huevo normal se encuentra entre 72 y 76, ya que menores de 72 son puntiagudos, y mayores de 76 son redondos.

Tabla 2. Peso, largo y ancho del huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de proteína cruda (PC).

Tratamientos	Peso (g)	Largo (mm)	Ancho (mm)
18% PC	62.31 ^a	59.00 ^a	43.44 ^a
16% PC	62.11 ^a	58.76 ^a	43.45 ^a
12% PC	59.95 ^b	57.85 ^b	43.10 ^b
Error Estándar	0.20	0.10	0.06

Medias con diferente letra, dentro de cada columna, son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$).

Tabla 3. Índice de forma, volumen y área de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de proteína cruda (PC).

Tratamientos	Índice de forma	Volumen (cm ³)	Área (cm ²)
18% PC	73.70 ^b	62.31 ^a	72.60 ^a
16% PC	74.04 ^b	62.11 ^a	72.45 ^a
12% PC	74.58 ^a	59.95 ^b	70.74 ^a
Error Estándar	0.15	0.20	0.15

Medias con diferente letra, dentro de cada columna, son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$).

El volumen y el área son los predictores más confiables del tamaño de un huevo, son variables importantes que en el huevo caracterizan su valor cuantitativo y cualitativo (Narushin 2021), el tamaño de huevo es una característica importante para el consumidor (Narushin 2005). Las aves alimentadas con 12% PC tuvieron el menor volumen y la menor área, en comparación con el huevo de las gallinas alimentadas con 16 y 18% PC (Tabla 3). El menor peso, volumen y área del huevo producido por las gallinas alimentadas con 12% PC indica que es de tamaño pequeño lo que podría reducir su preferencia por el consumidor.

El huevo es un producto alimenticio de elevada calidad nutricional tanto para niños como para adultos, es una fuente de proteína, vitaminas, minerales y ácidos grasos esenciales, un huevo entero recién puesto contiene aproximadamente el 76.1% de agua, proteína 12.6%, grasa 9.5%, carbohidratos 0.7% y

1.1% de cenizas, respectivamente (Réhault-Godbert et al. 2019). La clara representa el 59%, 30 a 33% la yema, y 9 a 12% la cáscara (Starck 2020, Abeyrathne et al. 2013). El albumen o clara, está constituido en su mayoría por proteínas, la ovoalbúmina, ovotransferrina, ovomucoide, ovomucina, y lisozima son las que se encuentran en mayor proporción (Abeyrathne et al. 2013). El peso y porcentaje del albumen fueron menores en el huevo de las gallinas alimentadas con 12% PC. La disminución de la MALB del huevo de las gallinas que recibieron la dieta con 12% PC probablemente se debió a la menor cantidad de proteína destinada a la formación de ésta (Cuca et al. 2009). Mientras que, Babatunde y Fetuga (1976) encontraron que las gallinas alimentadas con 12% PC mostraron menor contenido de proteína en el huevo comparadas con las gallinas alimentadas con 20% PC (15.73 vs 16.47 % PC).

Sobre los porcentajes de proteínas en la clara de huevo de gallina se reportan que están influenciados por la naturaleza y calidad de la proteína dietética (Abeyrathne et al. 2013). Al respecto, Kusum et al. (2018) mencionan que la yema se encuentra en una distribución porcentual de 27 a 32% en el huevo, rango que coincide con lo observado en este trabajo, ya que la yema se encuentra entre los 28 y 30% con peso de aproximadamente de 17 g (Tabla 4). El peso y porcentaje de la yema de huevo de gallinas alimentadas con 12% PC fue mayor con respecto a la yema de las aves alimentadas con 18 y 16% PC. Lo que coincide con Csonka y Jones (1952) mencionan que la clara y la yema de huevo se pueden alterar modificando las concentraciones de proteína en la dieta. Mientras que Sobre lo mismo Pepper et al. (1967) reportan que hay relación entre la proteína y la absorción de calcio en las gallinas, para una buena absorción de calcio los niveles de aminoácidos como la lisina, arginina y triptófano deben estar cubiertos, sin embargo, también indican que un exceso de proteína en la dieta de gallinas reduce la mineralización ósea. Por lo que en este trabajo de investigación el cascarón no se afectó por la disminución de proteína, ya que las gallinas alimentadas con 18, 16 y 12% PC presentaron similar peso y porcentaje de cascarón.

Tabla 4. Masa y porcentaje de albumen, yema y cáscara de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de proteína cruda (PC).

Tratamientos	Masa (g)			Porcentaje (%)		
	Albumen	Yema	Cáscara	Albumen	Yema	Cáscara
18% PC	37.8 ^a	17.59 ^b	6.92 ^a	60.60 ^a	28.28 ^c	11.12 ^a
16%PC	37.4 ^a	17.80 ^{ab}	6.79 ^a	60.17 ^a	28.71 ^b	11.11 ^a
12%PC	35.2 ^b	17.94 ^a	6.90 ^a	58.63 ^b	30.02 ^a	11.34 ^a
Error Estándar	0.17	0.07	0.05	0.15	0.13	0.07

Medias con diferente letra, dentro de cada columna, son estadísticamente diferentes (P < 0.05).

CONCLUSIONES

Gallinas de postura de segundo ciclo alimentadas con dietas con 16 y 18% de proteína cruda a presentaron similar macroestructura del huevo (peso, largo, ancho, índice de forma, volumen, área, masas

de albumen, yema y cáscara, y porcentajes de albumen y cáscara), sin embargo, la alimentación con dietas con 12% proteína cruda redujo el peso, largo ancho, volumen y masa de albumen, pero no afectó la masa ni la proporción de cáscara, en comparación con dietas con 4 y 6% más de PC.

LITERATURA CITADA

- Abeyrathne EDNS, Lee HY, Ahn DU (2013) Egg white proteins and their potential use in food processing or as nutraceutical and pharmaceutical agents-A review. *Poultry Science* 92: 3292-3299.
- Alagawany M, Abd E-HME, Ragab FM, Tiwari R, Sachan S, Karthik K, Dhama K (2016) Positive and negative impacts of dietary protein levels in laying hens. *Asian Journal of Animal Science* 10: 165-174.
- Altuntas E, Sekeroglu A (2008) Effect of egg shape index on mechanical properties of chicken eggs. *Journal of Food Engineering* 85: 606-612.
- Babatunde GM, Fetuga BL (1976) Effects of protein levels in the diets of layers on the egg production rate and the chemical composition of poultry eggs in the tropics. *Journal of the Science Food and Agriculture* 21: 454-462.
- Burley HK, Patterson PH, Elliot MA (2013) Effect of a reduced crude protein, amino acid-balanced diet on hen performance, production costs, and ammonia emissions in a commercial laying hen flock. *Journal of Applied Poultry Research* 22: 217-228.
- Csonka FA, Jones MA (1952) Factors affecting the percentage of certain proteins in egg white protein. *Journal Nutrition* 46: 531-537.
- Cuca GM, Ávila GE, Pro MA (2009) Alimentación de las aves. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México, México. 276p.
- Duman M, Şekeroglu A, Yildirim A, Eleroğlu H, Camci Ö (2016) Relation between egg shape index and egg quality characteristics. *European Poultry Science* 80. DOI: 10.1399/eps.2016.117.
- Etches RJ (1996) Reproducción aviar. Acirbia. Zaragoza, España. 339p.
- García E (2004) Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía-UNAM. México. 90p.
- Hunton P (2005) Research on eggshell structure and quality: An historical overview. *Brazilian Journal Poultry Science* 7: 67-71.

- Junqueira OM, de Laurentiz AC, da Silva FR, Rodrigues E A, Casartelli EM (2006) Effects of energy and protein levels on egg quality and performance of laying hens at early second production cycle. *Journal of Applied Poultry Research* 15: 110-115.
- Kusum M, Verma RC, Renu M, Jain Hk, Deepak S (2018) A review: Chemical composition and utilization of egg. *International Journal of Chemical Studies* 6: 3186-3189.
- Meluzzi A, Sirri F, Tallarico N, Franchini YA (2001) Nitrogen retention and performance of brown laying hens on diets with different protein content and constant concentration of amino acids and energy. *British Poultry Science* 42: 213-217.
- Narushin VG (2005) Egg Geometry Calculation Using the Measurements of Length and Breadth. *Poultry Science* 84: 482-484.
- Narushin VG, Romanov MN, Darren KG (2021) Non-destructive measurement of chicken egg characteristics: Improved formulae for calculating egg volume and surface area. *Biosystems Engineering* 201: 42-49.
- NRC (1994) Nutrient requirements of Poultry. National Research Council 9th Edition. National Academy Press, Washington, DC, USA. 176p.
- Orozco CR, Melean RR (2004) Costos de producción en la cría de pollos de engorde. *Revista Venezolana de Gerencia* 9: 1-27.
- Pepper WF, Slinger SJ, Summers JD, McConachie JD (1967) The Interaction Between Dietary Calcium and Protein for Laying Hens. *Poultry Science* 46: 411-417.
- Réhault-Godbert S, Guyot N, Nys Y (2019) The golden egg: Nutritional value, bioactivities, and emerging benefits for human health. *Nutrients* 11: 684. DOI: 10.3390/nu11030684.
- Ribeiro V, Salguero SC, Vieira RA, Silva LM, Silva DL, Hannas, MI, Albino LFT, Rostagno HS (2016) Crude protein levels in diets for laying hens. *Archivos de Zootecnia* 65: 225-229.
- Shim MY, Song E, Billard L, Aggrey SE, Pesti GM, Sodsee P (2013) Effects of balanced dietary protein levels on egg production and egg quality parameters of individual commercial layers. *Poultry Science* 92: 2687-2696.
- Starck MJ (2020) Morphology of the avian yolk sac. *Journal of Morphology* 282: 959-972.
- Tarasewicz Z, Gardzielewska J, Szczerbińska D, Ligocki M, Jakubowska M, Majewska D (2007) The effect of feeding with low-protein feed mixes on the growth and slaughter value of young male Pharaoh quails. *Archiv fur Tierzucht Dummerstorf* 50: 520-530.
- Torki M, Mohebbifar A, Ali GH, Zardast A (2014) Response of laying hens to feeding low-protein amino acid-supplemented diets under high ambient temperature: performance, egg quality, leukocyte profile, blood lipids, and excreta pH. *International Journal Biometeorology* 59: 575-584.