

ARTÍCULO CIENTÍFICO

Nivel de proteína cruda en la dieta y de calcio suplementado en gallinas de postura

*Ronald Santos-Ricalde*¹, *José Segura-Correa*², *Luis Sarmiento-Franco*³, *Carlos Aguilar-Pérez*⁴

RESUMEN

El porcentaje de postura y el peso del huevo se ven afectados por el nivel de proteína cruda (PC) en la dieta; así como el nivel de calcio (Ca) repercute en el peso del cascarón y el porcentaje de huevo roto. En este experimento, el cual se llevó a cabo en las instalaciones avícolas de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, México, se midió el efecto de dos niveles de PC (16% y 18%) y 4 niveles de Ca suplementado en partículas de 2 mm (0, 2, 4 y 6 g/gallina/día) sobre la producción y calidad del huevo. Se emplearon 192 gallinas de 68 semanas de edad al inicio del experimento. Los animales estuvieron en jaulas; se asignaron al azar tres jaulas con dos gallinas y seis jaulas con tres a cada tratamiento. Las dietas se elaboraron con 4,0% de Ca fino. Las aves tuvieron libre acceso al alimento y se suplementaron cada segundo día con Ca adicional, de acuerdo con el tratamiento correspondiente. El experimento duró 8 semanas y cada segunda semana se midieron indicadores productivos y características del huevo. El diseño experimental fue completamente al azar en un arreglo factorial y con medidas repetidas donde la jaula fue la unidad experimental; el Error A fue experimental, estando la jaula dentro del tratamiento

¹ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, México. Autor para correspondencia: rsantos@correo.uady.mx (<https://orcid.org/0000-0002-6730-619X>).

² Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, México. jose.segura@correo.uady.mx (<https://orcid.org/0000-0003-1329-9948>).

³ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, México. luis.sarmiento@correo.uady.mx (<https://orcid.org/0000-0003-1612-0675>).

⁴ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, México. caperez@correo.uady.mx (<https://orcid.org/0000-0001-8102-1919>).

Recibido: 20 mayo 2024 Aceptado: 29 agosto 2024

Esta obra está bajo licencia internacional Creative Commons Reconocimiento-NoComercial SinObrasDerivadas 4.0.



(combinaciones de PC y Ca), y el Error B fue residual. Se descubrió que el peso del huevo y de la clara fueron mayores ($p < 0.05$) en la dieta con 16% de PC (63,9 y 39,0 g, respectivamente), en comparación con las de 18% (62,5 y 38,0 g, respectivamente). El peso de la cáscara fue menor ($p < 0.05$) con 6 g de Ca, en comparación con los otros niveles de Ca (el peso de la cascara fue de 5,8 g; 5,8 g; 5,9 g; 5,4 g para los tratamientos 0, 2, 4 y 6 g de Ca suplementado, respectivamente). En conclusión, no se observó ningún beneficio en incrementar el nivel de PC en la dieta ni en suplementar calcio en el alimento en las gallinas de postura con más de 68 semanas de edad.

Palabras clave: Peso de cascarón, peso de huevo, gallinas, calidad de huevo, calcio.

ABSTRACT

Crude protein level in the diet and supplemented calcium in laying hens. The laying percentage and egg weight are affected by the crude protein (CP) level and calcium (Ca) harms eggshell weight and the broken eggs percentage. In this experiment, conducted at the poultry facilities of the Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science at the Autonomous University of Yucatán, Mérida, México, the effect of two CP levels (16% and 18%) and four levels of calcium supplementation in 2 mm particles (0, 2, 4, and 6 g/hen/day) on egg production and quality was measured. One hundred and ninety-two of 68 weeks-old hens were used at the beginning of the experiment. The hens were housed in cages; three cages with two hens and six cages with three were randomly assigned to each treatment. Diets were elaborated with 4.0% Ca. Hens were fed daily *ad libitum* and supplemented every second day with Ca grit additional to the diet, as the corresponding treatment. The experiment lasted 8 weeks and production and traits variables were measured every two weeks. The experiment was a completely randomized design with a factorial arrangement and repeated measures where the plot was the cage (experimental unit); the Error A was experimental, being the cage within treatments (protein and calcium combinations), and the Error B was residual. A higher egg and albumen weight ($p < 0.05$) were found in the diet with 16% PC (63.9 y 39.0 g, respectively), compared to 18%

(62.5 g and 38.0 g, respectively). Shell weight was lower ($p < 0.05$) in hens with 6 g of Ca compared to the other levels (shell weights 5.8, 5.8, 5.9, and 5.4 g for treatments 0, 2, 4, and 6 g of supplemented Ca, respectively). In summary, neither an increase in the CP content of the feed nor calcium supplementation was beneficial in laying hens over 68 weeks of age.

Keywords: Shell weight, egg weight, hens, egg quality, calcium.

INTRODUCCIÓN

El nivel de proteína cruda (PC) y calcio (Ca) en la dieta de las gallinas afecta principalmente el peso del huevo y la calidad del cascarón, respectivamente. Este efecto es muy marcado sobre todo cuando las aves envejecen y han cumplido con más de dos tercios del ciclo de postura (Diana et al., 2021).

Particularmente, el nivel de PC en la dieta influye significativamente sobre el porcentaje de postura y sobre el peso del huevo (Alagawany et al., 2020; Yun-Ji et al., 2023). También se ha observado que niveles bajos de PC en la dieta de las gallinas reducen el aprovechamiento de la energía para la producción de huevo y puede contribuir al síndrome del hígado graso (Rozenboim et al., 2016). En climas cálidos, donde los animales reducen su consumo de alimento cuando están sometidas a estrés calórico, se recomienda incrementar la concentración de PC, y, sobre todo, de aminoácidos. De esta manera, no disminuye el porcentaje de postura, el peso de huevo ni su masa (Torki et al., 2015).

Por otro lado, el Ca es necesario para la formación del cascarón en las gallinas de postura. Cuando este elemento es deficiente en las dietas, los animales tienen que utilizar sus reservas óseas para la formación del cascarón, lo que puede causar problemas de descalcificación (Islam y Nishibori, 2021). En situaciones crónicas de descalcificación se presenta el síndrome de baja postura, en el cual las gallinas se postran, dejan de ovar, los huesos largos (como los tarsos)

quedan blandos y se pueden fracturar, el esternón se deforma, el cascarón del huevo adelgaza y el porcentaje de los rotos incrementa (Swiatkiewicz et al., 2015; Molnár et al., 2017; Yang et al., 2021).

Asimismo, el estrés calórico que sufren las gallinas en países con clima caluroso también compromete la disponibilidad de Ca para la formación del cascarón. Cuando esto ocurre, disipan el calor a través de jadeo y esto incrementa la pérdida de dióxido de carbono que se utiliza para formar CaCO_3 en la presencia de Ca en el útero. En consecuencia, similar a como se mencionó anteriormente, se producen cascarones más delgados y blandos (Islam y Nishibori, 2021) y se incrementa la tasa de huevos rotos (Molnár et al., 2017). En lugares con esta condición térmica, el consumo de proteína cruda (PC) y Ca puede disminuir debido a la temperatura ambiente, lo que plantea un desafío significativo en la producción avícola. La disminución en la ingesta de estos nutrientes puede afectar negativamente la producción de huevos y la calidad del cascarón, factores cruciales para la viabilidad económica de las granjas avícolas.

El problema de la descalcificación y el incremento en la tasa de huevos rotos y blandos se agrava conforme las gallinas envejecen y se reducen sus reservas de calcio en los huesos (Sinclair-Black et al., 2023). Además, la eficiencia de absorción de Ca dietético en el intestino delgado disminuye con la edad (Diana et al., 2021).

Debido a esto, se planteó la presente investigación. Esta tuvo como objetivo evaluar el efecto del nivel de proteína en las dietas de gallinas de postura y la suplementación con calcio sobre la producción de huevo y la calidad del cascarón en aves en el último tercio de su ciclo de postura.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron 192 gallinas de postura de 68 semanas de edad de la línea Bovans White. Estas se

alojaron en jaulas de 1600 cm² provistas con bebedero tipo copa y comedero lineal. El experimento se realizó durante los meses de junio y julio del 2022 en las instalaciones avícolas de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Yucatán, ubicada en Mérida Yucatán, México. La temperatura ambiente mínima y máxima promedio fue de 24 °C y 35 °C, respectivamente (SMN, 2022).

Tratamientos

Se utilizaron dos dietas con 16% y 18% de PC y la suplementación con 0, 2, 4, y 6 g de Ca grueso/gallina/día. Los tratamientos resultaron de la combinación factorial 2x4 de las 2 dietas y los 4 niveles de suplementación de Ca grueso en las gallinas, siendo al final 8 tratamientos. Las dietas utilizadas se formularon con dos niveles de PC (16% y 18%) con 4% de Ca fino en el alimento (Cuadro 1). Además, se balancearon de acuerdo con los requerimientos de energía, proteína cruda y aminoácidos (Cuadro 2), según el manual de manejo de la línea Bovans White (Hendrix Genetics, 2020). Se utilizó el programa Rationmix[®] (Fajardo, 2013) para formular las dietas. En el cuadro 2 se presenta el análisis calculado de las dietas base utilizadas.

Cuadro 1. Porcentaje de inclusión de ingredientes de las dietas base con 16 y 18% de PC.

Ingredientes (%)	Nivel de PC	
	16%	18%
Maíz	61,29	56,69
Pasta de Soya	21,82	27,03
¹ Carbonato de calcio	9,91	9,52
Salvadillo de trigo	5,00	4,00
² Ortofosfato	0,70	1,41
Aceite de soya	0,50	0,50
Sal común	0,30	0,30
³ Mycosorb	0,10	0,10
⁴ Maxifolipol	0,10	0,10
⁵ Minerales y vitaminas	0,10	0,10
DL-Metionina (99%)	0,07	0,14
⁶ Yemix	0,06	0,06
⁷ Cloruro de colina	0,05	0,05

¹Calcio 38%

²20% calcio y 20% fosforo

³Secuestrante de micotoxinas, Alltech®

⁴Flavofosfolipol pisa®

⁵Minerales y vitaminas: Mn, 65mg; I, 1 mg; Fe, 55 mg; Cu, 6 mg; Zn, 55 mg; Se, 0,3 mg; vitamina A, 8000 UI; vitamina D, 2500 UI; vitamina E, 8 UI; vitamina K, 2 mg; vitamina B, 0,002 mg; riboflavina, 5,5 mg; pantotenato de calcio 13 mg; niacina, 36 mg; cloruro de colina, 500 mg; ácido fólico, 0,5 mg; tiamina, 1 mg; piridoxina, 2,2 mg; biotina, 0,05 mg

⁶600 g/kg pigmento amarillo

⁷700 g/kg de cloruro de colina

Cuadro 2. Análisis calculado de las dietas base con 16 y 18% de PC.

Ingredientes (%)	Nivel de PC	
	16%	18%
Proteína cruda	16,00	18,00
Calcio	4,00	4,00
¹ EM (Kcal/kg)	2884	2850
Acido linoleico	1,59	1,51
Lisina	0,86	0,87
Metionina + Cistina	0,63	0,70
Fibra cruda	3,10	3,20

¹Energía metabolizable.

Las gallinas se alimentaron diariamente *ad libitum* y se suplementaron cada segundo día, después de proporcionales el alimento con partículas de Ca grueso de 2 mm directamente en el comedero, según correspondiera cada tratamiento. A cada tratamiento se le asignó al azar tres jaulas con dos animales y seis jaulas con tres para un total de 9 jaulas por tratamiento.

El experimento tuvo una duración de 8 semanas, durante las cuales se realizaron mediciones y cálculos cada dos semanas para obtener datos precisos sobre el consumo de alimento, la producción y calidad de los huevos. También, durante este lapso, se cuantificaron y pesaron los recolectados por jaula; con esos datos y el número de gallinas por jaula se calculó el porcentaje de postura y la masa de huevo.

El porcentaje de postura se calculó utilizando el número acumulado de huevos recolectados cada dos semanas en relación con el número de gallinas en cada jaula. Por otro lado, la masa de huevo se determinó multiplicando el porcentaje de postura por el peso de estos y dividiendo el resultado entre 100.

Para ambos parámetros, hubo 9 observaciones por tratamiento cada dos semanas, resultando en un total de 36 observaciones por tratamiento, considerando los 4 muestreos.

Adicionalmente, cada dos semanas, se seleccionaba un huevo de cada jaula para un análisis detallado. Estos se pesaban en una báscula granataria. Posteriormente, se rompían cuidadosamente para medir la altura de la clara con un vernier. Además, se pesaban por separado la yema y la clara. El cascarón de cada huevo se secaba durante 24 horas en una estufa de desecación a 60 °C, después de lo cual se pesaba y se medía su grosor con un micrómetro.

Diseño experimental

El diseño experimental fue completamente al azar en un arreglo factorial 2x4 con medidas repetidas (4 mediciones cada dos semanas por jaula). La jaula fue la unidad experimental, mientras que el error experimental fue la jaula dentro de tratamiento (combinaciones de PC y Ca). Los datos se analizaron con el procedimiento GLM del SAS (2010).

El modelo estadístico que describió las variables de respuesta fue:

$$y_{ijkl} = \mu + P_i + C_j + P_i*C_j + r_k(PC_{ij}) + M_l + e_{ijkl}$$

Donde:

y_{ijkl} = observaciones correspondientes a las mediciones de producción y calidad de huevo (n = 288).

μ = media general.

P_i = i-ésimo nivel de proteína (1, 2).

C_j = j-ésimo nivel de calcio (1, 2, 3, 4).

P_i*C_j = interacción proteína x calcio.

$r_k(PC_{ij})$ = réplicas (jaulas) dentro de tratamientos (combinaciones de niveles de proteína y calcio; Error experimental).

M_l = mediciones en jaula cada dos semanas (1, 2, 3, 4).

e_{ijkl} = error residual, NID (μ, σ^2).

El error experimental se utilizó para probar los efectos de PC, Ca y PC*Ca; cuya suma de cuadrados corresponde a la suma de cuadrados de tratamientos. Cuando el análisis de varianza fue significativo ($p < 0.05$) para Ca, las medias se compararon mediante la prueba de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Solo se encontró efecto ($p < 0.05$) del nivel de PC sobre las variables productivas para peso del huevo, el cual fue mayor ($p < 0.05$) en las gallinas alimentadas con la dieta de 16% de PC en comparación con las alimentadas con 18% (Cuadro 3).

Cuadro 3. Variables productivas de gallinas alimentadas con dos niveles de PC y 4 niveles de Ca.

Factor	Nivel	Consumo de alimento (g)	Conversión alimenticia	Peso de huevo (g)	% de postura	Masa de huevo (g/ave/día)
PC (%)	16	102,20	2,00	63,90 ^a	80,10	51,40
	18	102,00	1,90	62,50 ^b	84,70	52,90
	EE ¹	1,46	0,03	0,46	1,51	0,96
	Valor de p	0.9365	0.2916	0.0465	0.0766	0.3043
Ca (g)	0	105,50	2,10 ^a	63,30	80,10	51,00 ^{ab}
	2	102,70	2,00 ^{ab}	62,10	79,80	49,30 ^{ab}
	4	100,20	2,00 ^{ab}	64,20	85,30	54,50 ^b
	6	100,00	1,90 ^b	63,00	85,30	53,70 ^b
	EE ¹	2,06	0,05	0,65	2,13	1,35
	Valor de p	0.2342	0.0157	0.1867	0.1450	0.0436
Valor de p	PC*Ca	0.1888	0.0457	0.2848	0.8984	0.4886

¹ EE = Error Estándar

^{a, b} Letras diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes.

Para las variables de la calidad del huevo, se encontró que el peso de la clara fue mayor ($p < 0.05$) en los de las gallinas alimentadas con la dieta de 16% de PC, en comparación con las alimentadas con la de 18% (39 y 38 g, respectivamente) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Medias de rasgos de la calidad del huevo en gallinas alimentadas con dos niveles de PC y 4 niveles de Ca.

Factor	Nivel	Peso de cascarón (g)	Grosor de cascarón (mm)	Peso de clara (g)	Peso de yema (g)	Altura de clara (mm)
PC (%)	16	5,80	0,43	39,00 ^a	17,60	10,40
	18	5,70	0,43	38,00 ^b	17,30	10,40
	EE ¹	0,06	0,01	0,32	0,17	0,14
	Valor de p	0.3264	0.5707	0.0350	0.3767	0.9465
Ca (g)	0	5,80 ^a	0,43	38,20	17,80	10,60
	2	5,80 ^a	0,44	37,70	17,30	10,50
	4	5,90 ^a	0,43	39,30	17,60	10,60
	6	5,40 ^b	0,43	38,60	17,10	10,00
	EE ¹	0,10	0,01	0,50	0,14	0,20
Valor de p	0.0172	0.6084	0.1216	0.1826	0.1469	
Valor de p	PC*Ca	0.6674	0.7403	0.2049	0.2202	0.5329

¹ EE = Error Estándar

^{a, b} Letras diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes.

El menor peso de huevo y de clara observado en los animales alimentados con 18% de PC, en comparación con la dieta de menor contenido de PC, no coincide con lo reportado en otros trabajos de investigación similar. En gallinas de postura de 70 semanas de edad se observó que el incremento del porcentaje de PC en la dieta de 14,9%, 16,1% y 17,4% aumentó el consumo de alimento, el peso de la clara y la masa de huevo (Gunawardana et al., 2008). En otros trabajos se reporta un aumento del peso del huevo, pero sin efecto sobre el peso de la

clara y la masa de este cuando se incrementó la PC en la dieta de gallinas de postura (Novak et al., 2008). Asimismo, se menciona que, al aumentar la concentración proteica en este tipo de animales, incrementa el consumo de alimento y el peso del huevo (Shim et al., 2013).

De manera similar, en otras especies, como las codornices, se ha observado que el aumento en el nivel de PC en la dieta incrementa el peso y la masa del huevo (Chalegre de Freitas et al., 2005). Sin embargo, en otros trabajos se ha reportado lo contrario; por ejemplo, con este mismo tipo de ave, se observó que el peso de los huevos disminuyó al aumentarse el nivel de PC en la dieta, pero incrementó el número de los puestos por ave/día (Ashour et al., 2024). Como se ha discutido, el peso del huevo y de la albumina puede ser influido no sólo por el nivel de PC en la dieta, sino también por el porcentaje de postura. En este trabajo, aunque las que fueron alimentadas con 16% de PC ovaron huevos más pesados, produjeron la misma masa de huevo que las que tuvieron una dieta con 18% de PC ($p > 0.05$) (Cuadro 3). Estos resultados coinciden con los observados en gallinas de 60 semanas de edad, criadas en un ambiente cálido y a las cuales se les redujo la PC en la dieta de 16,5 a 13,5% sin afectar la masa de huevo (Torki et al., 2015).

También se encontró una reducción en la conversión alimenticia y un aumento en la masa de huevo conforme se incrementó el nivel de Ca suplementado en la dieta ($p < 0.05$) (Cuadro 3). La reducción de la conversión alimenticia pudo estar asociada a la comida promedio diaria, sin influir en la masa de huevo. Las gallinas suplementadas con 6 g de Ca consumieron 5,5 g menos en comparación con las que no se suplementaron. Estos resultados indican que el consumo de alimento decreció casi en la misma proporción que el del Ca suplementado. Esto no dio consecuencias negativas a la masa de huevo, sino que la aumentó ($p < 0.05$) (Cuadro 3). De manera similar, Safaa et al. (2008) reportaron que, cuando se incrementó el nivel de Ca en la dieta de gallinas de postura de 3,5% a 4,0%, la conversión alimenticia mejoró, aunque el consumo de alimento no se vio afectado.

En otra investigación, se observó que el incremento del nivel de Ca en la dieta de las gallinas redujo el consumo de alimento, pero no influyó en la conversión alimenticia (Keshavarz et al.,

1993). De acuerdo con lo encontrado en este trabajo, se reporta que el tamaño de partícula del Ca utilizado en la dieta afecta la alimentación, partículas gruesas reducen significativamente el consumo en gallinas de postura, sin disminuir el peso del huevo (Saunders-Blades et al., 2009). Sin embargo, en este trabajo se demostró una interacción significativa de PC*Ca sobre la conversión alimenticia ($p < 0.05$), lo que indica que la respuesta al nivel de PC en la dieta dependa del nivel de suplementación de Ca. Al respecto, se reporta que, al mejorar el nivel de PC en la dieta de gallinas de postura, se reduce la conversión alimenticia (Ribeiro Jr et al., 2016).

Por otro lado, cuando se incrementa el nivel de Ca en la dieta, la conversión alimenticia disminuye o no se altera (Attia et al., 2020; Lim et al., 2022). Sin embargo, no se encontraron estudios donde se haya evaluado el Ca suplementado (adicional al Ca en la dieta) en gallinas de postura. En este estudio se observó que las aves alimentadas con la dieta de 16% de PC tuvieron una reducción de la conversión alimenticia conforme aumentó la cantidad de Ca suplementado, a diferencia de lo observado en las alimentadas con la de 18% de PC (Figura 1).

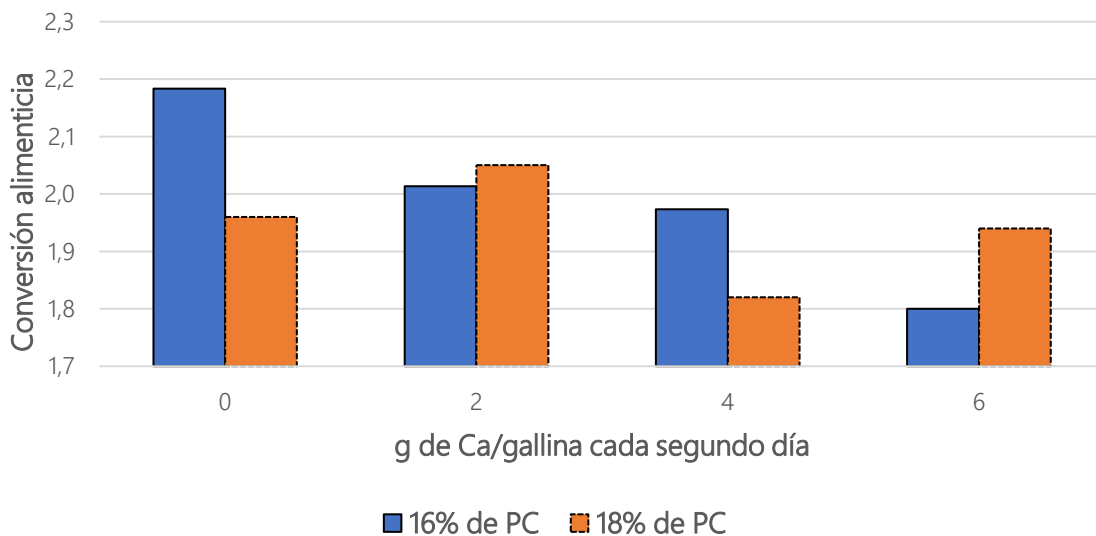


Figura 1. Interacción de PC*Ca en gallinas alimentadas con dietas con 16% y 18% de PC y suplementadas con 0, 2, 4 y 6 g de Ca cada segundo día.

Asimismo, el incremento significativo en la masa de huevo debido a la suplementación con Ca ($p < 0.05$) (Cuadro 3) se puede relacionar al incremento en el porcentaje de postura observado cuando se suplementó con 4 y 6 g por día con Ca (80% para 0 y 2 g contrapuesto a 85% en los animales con 4 y 6 g por día). Se menciona que las gallinas que comen menos son más eficientes metabólicamente y utilizan mejor su energía que las que consumen más. La restricción del sustento en las de postura no dañó la producción, el peso y la masa del huevo, siempre y cuando no comprometa los requerimientos de las gallinas (Anene et al., 2023). Moreira et al. (2012) mencionan que la restricción en un 5% del consumo de comida no afecta el peso del huevo ni la masa de huevo. Cuando este tipo de ave son suplementadas excesivamente, acumulan más grasa abdominal y en el hígado y producen menos huevos (Anene et al., 2021; Anene et al., 2023). Se podría deducir de este trabajo que la reducción en el consumo de alimento por efecto de la suplementación con Ca no perjudicó los requerimientos nutricionales de las gallinas y mejoro la conversión alimenticia.

En el Cuadro 4 se observa que el peso del cascarón se redujo significativamente ($p < 0.05$) cuando se añadió la mayor cantidad de Ca en comparación a los demás tratamientos (5,8; 5,8; 5,9; 5,4 g de peso de cascarón para los niveles de 0, 2, 4 y 6 g de suplementación de Ca, respectivamente). La literatura científica menciona que la añadidura del calcio mejora la dureza del cascarón (Proudfoot y Hulan, 1987), lo cual sugiere que hay una relación entre la dureza y el grosor del cascarón.

Sin embargo, la minorización en el peso del cascarón en el nivel más alto de suplementación observada en este trabajo pudo estar asociada a la disminución en el consumo de alimento conforme se incrementó el nivel de Ca en la dieta (Cuadro 3). Es posible especular que, al reducirse la comida, restringió el consumo de Ca fino y no se compensó con el Ca grueso como complemento, por lo que no se observó ningún beneficio en suplementar con 6 g de Ca. Al respecto, Molnár et al. (2017) reportaron que, al adicionar con 100% de Ca grueso, se redujo el consumo de alimento y se incrementó el porcentaje de huevos rotos en gallinas de postura.

Esto indica que, aunque la dureza del cascarón pueda mejorar con la suplementación de Ca, el peso y posiblemente el grosor del cascarón, afecta negativamente porque la ingesta disminuye.

CONSIDERACIONES FINALES

No se encontraron diferencias significativas al incrementar el nivel de PC en las dietas de las gallinas sobre la producción y la calidad de los huevos en aves de postura de más de 68 semanas de edad. Se observaron diferencias significativas con la suplementación con Ca sobre la conversión alimenticia y la masa de huevo, pero afectando negativamente el peso del cascarón. Con base en los resultados obtenidos en este trabajo, se sugiere no incrementar el porcentaje de PC en la dieta ni suplementarle calcio a la alimentación de las gallinas con más de 68 semanas de edad.

LITERATURA CITADA

- Alagawany, M., M. M. El-Hindawy, M. E. A. El-Hack, M. Arif, y S. A. El-Sayed. 2020. Influence of low-protein diet with different levels of amino acids on laying hen performance, quality and egg composition. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, 92 (1): e20190676. doi: 10.1590/0001-3765202020180230.
- Anene, D. O., Y. Akter, P. C. Thomson, P. Groves, S. Liu, y C. J. O'Shea. 2021. Hens that exhibit poorer feed efficiency produce eggs with lower albumen quality and are prone to being overweight. *Animals*, 11 (10): 2986. doi: 10.3390/ani11102986
- Anene, D. O., Y. Akter, P. C. Thomson, P. Groves, y C. J. O'shea. 2023. Effect of restricted feeding on hen performance, egg quality and organ characteristics of individual laying hens. *Animal Nutrition*, 14: 141-151. doi: 10.1016/j.aninu.2023.05.001

- Ashour, E. A., M. Kamal, H. A. A. Altaie, A. A. Swelum, G. M. Suliman, G. Tellez-Isaias, y M. E. A. El-Hack. 2024. Effect of different energy, protein levels and their interaction on productive performance, egg quality, digestibility coefficient of laying Japanese quails. *Poultry Science*, 103 (1): 103170. doi: 10.1016/j.psj.2023.103170
- Attia, Y. A., M. A. Al-Harhi, y H. M. Abo El-Maaty. 2020. Calcium and Cholecalciferol Levels in Late-Phase Laying Hens: Effects on Productive Traits, Egg Quality, Blood Biochemistry, and Immune Responses. *Frontiers in veterinary science*, 30 (7): 389. doi: 10.3389/fvets.2020.00389
- Chalegre de Freitas, A., M. F. Freire Fuentes, E. Rodrigues Freitas, F. Silveira Sucupira, y B. C. Moura de Oliveira. 2005. Dietary crude protein and metabolizable energy levels on laying quails' performance. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34 (3): 838-846. doi: 10.1590/S1516-35982005000300015
- Diana, T. F., A. A. Calderano, F. D. C. Tavernari, H. S. Rostagno, A. D. O. Teixeira, y L. F. T. Albino. 2021. Age and calcium sources in laying hen feed affect calcium digestibility. *Open Journal of Animal Science*, 11 (3): 501-513. doi: 10.4236/ojas.2021.113034
- Fajardo, C. 2013. Rationmix. Version 1.0. Bogota, Colombia. <https://www.rationmix.com/p%C3%A1gina-principal>.
- Gunawardana, P., D. A. Roland, y M. M. Bryant. 2008. Effect of energy and protein on performance, egg components, egg solids, egg quality, and profits in molted hy-line w-36 hens. *Journal of Applied Poultry Research*, 17 (4): 432-439. doi: 10.3382/japr.2007-00085
- Hendrix Genetics. 2020. Guía de nutrición. Boxmeer, Países Bajos. https://layinghens.hendrix-genetics.com/documents/1130/Nutrition_Guide_Spanish_vs3.pdf
- Islam, M. A., y M. Nishibori. 2021. Use of extruded eggshell as a calcium source substituting limestone or oyster shell in the diet of laying hens. *Veterinary Medicine and Science*, 7 (5): 1948-1958. doi: 10.1002/vms3.544.
- Keshavarz, K., M. L. Scott, y J. Blanchard. 1993. The effect of solubility and particle size of calcium sources on shell quality and bone mineralization. *Journal of Applied Poultry Science*, 2 (3): 259-267. doi: 10.1093/japr/2.3.259
- Lim, C. I., y K. S. Ryu. 2022. Interactive effect of dietary levels of calcium and 25-hydroxy vitamin D3 on the performance, serum biochemical concentration and digestibility of laying hens from 61 to 70 weeks of age. *Animal Bioscience*, 35 (9): 1426-1433. doi: 10.5713/ab.22.0003.

- Molnár, A., L. Maertens, B. Ampe, J. Buyse, J. Zoons, y E. Delezie. 2017. Supplementation of fine and coarse limestone in different ratios in a split feeding system: Effects on performance, egg quality, and bone strength in old laying hens. *Poultry Science*, 96 (6): 1659-167. doi: 10.3382/ps/pew424
- Moreira, R. F., E. R. Freitas, F. S. Sucupira, A. L. F. Diógenes, M. S. Abe y F. W. S. Araújo. 2012. Effect of feed restriction with voluntary hay intake on the performance and quality of laying hen eggs. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 34 (2): 149-154. doi: 10.4025/actascianimsci.v34i2.12451.
- Novak, C. L., H. M. Yakout, y J. Remus. 2008. Response to varying dietary energy and protein with or without enzyme supplementation on leghorn performance and economics. 2. laying period. *Journal of Applied Poultry Research*, 17 (1): 17-33. doi: 10.3382/japr.2006-00126
- Proudfoot F. G. y H. W. Hulan. 1987. Effect on shell strength of feeding supplemental sources of calcium to adult laying hens given insoluble grit during the rearing period. *British Poultry Science*, 28 (3): 381-386. doi: [10.1080/00071668708416972](https://doi.org/10.1080/00071668708416972)
- Ribeiro Jr, V., S. C. Salguero, R. A. Vieira, L. M. Silva, D. L. Silva, M. I. Hannas, L. F. T. Albino, y H. S. Rostagno. 2016. Crude protein levels in diets for laying hens. *Archivos de Zootecnia*, 65 (250): 225-228. <https://www.redalyc.org/pdf/495/49545852017.pdf>
- Rozenboim, I., J. Mahato, N. A. Cohen, y O. Tirosh 2016. Low protein and high-energy diet: a possible natural cause of fatty liver hemorrhagic syndrome in caged White Leghorn laying hens. *Poultry Science*, 95 (3): 612-62. doi: 10.3382/ps/pev367
- Safaa, H. M., M. P. Serrano, D. G. Valencia, M. Frikha, E. Jimenez-Moreno y G. G. Mateos. 2008. Productive performance and egg quality of brown egg-laying hens in the late. Phase of production as influenced by level and source of calcium in the diet. *Poultry Science*, 87 (10): 2043-2051. doi: 10.3382/ps.2008-00110
- SAS. 2010. SAS Institute Inc., Cary-NC, USA.
- Saunders-Blades, J. L., J. L. Maclsaac, D. R. Korver, y D. M. Anderson. 2009. The effect of calcium source and particle size on the production performance and bone quality of laying hens. *Poultry Science*, 88 (2): 338-353. doi: 10.3382/ps.2008-00278
- SMN (Servicio Meteorológico Nacional). 2022. Resúmenes mensuales de temperaturas y lluvias. Gobierno de México. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>.

- Shim, M. Y., E. Song, L. Billard, S. E. Aggrey, G. M. Pesti, y P. Sodsee. 2013. Effects of balanced dietary protein levels on egg production and egg quality parameters of individual commercial layers. *Poultry Science*, 92 (10): 2687–2696. doi: 10.3382/ps.2012-02569
- Sinclair-Black, M., R. A. Garcia, y L. E. Ellestad. 2023. Physiological regulation of calcium and phosphorus utilization in laying hens. *Frontiers in Physiology*, 14: 1112499. doi: 10.3389/fphys.2023.1112499
- Swiatkiewicz, S., A. Arczewska-Włosek, J. Krawczyk, M. Puchała, y D. Józefiak. 2015. Effects on performance and eggshell quality of particle size of calcium sources in laying hens' diets with different Ca concentrations *Archives Animal Breeding*, 58 (2): 301–307. doi: 10.5194/aab-58-301-2015
- Torki, M., A. Mohebbifar, H. Ali Ghasemi, y A. Zardast. 2015. 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 of Biometeorology*, 59 (5): 575–584. doi: 10.1007/s00484-014-0870-0
- Yang, N., D. Luo, X. Teng, Z. Liu, H. Wang, M. Ge, y R. Zhang. 2021. Study on the morphological and metabolic changes of femur in laying hens with hypophosphatemia. *Research in Veterinary Science*, 134 (1): 127-136. doi: 10.1016/j.rvsc.2020.12.004
- Yun-Ji, H., P. Jina Park, K. Yoo-Bhin, K. Byung-Yeon, K. Da-Hye, S. Ju-Yong Song, y L. Kyung-Woo. 2023. Effects of dietary protein levels on performance, nitrogen excretion, and odor emission of growing pullets and laying hens. *Poultry Science*, 102 (8): 102798. doi: 10.1016/j.psj.2023.102798