

Effect of the inclusion of L-carnitine on egg quality and productivity of Hy-Line Brown® laying hens

Efecto de la inclusión de L-carnitina en la productividad y calidad del huevo de gallinas ponedoras Hy-Line Brown®

R. L. Zelaya¹, J. J. Ríos¹, P. Paz², S. López¹, M. Valdivié³ and Y. Martínez^{1*}

¹Centro de Investigación y Enseñanza Avícola, Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria, Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Honduras

²Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria, Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Honduras

³Centro Nacional para la Producción de Animales de Laboratorio. Santiago de las Vegas, Rancho Boyeros, La Habana, Cuba

Email: ymartinez@zamorano.edu

R. L. Zelaya: <https://orcid.org/0000-0002-7209-8655>

J. J. Ríos: <https://orcid.org/0000-0003-2874-5867>

P. Paz: <https://orcid.org/0000-0002-9388-9579>

S. López: <https://orcid.org/0000-0002-2934-1509>

M. Valdivié: <https://orcid.org/0000-0002-8858-0307>

Y. Martínez: <https://orcid.org/0000-0003-2167-4904>

To evaluate the effect of the inclusion of L-carnitine on productivity and egg quality of laying hens, a total of 200 Hy-Line Brown® hens of 85 weeks old were randomly distributed into two treatments, with 20 repetitions/treatment and five hens/repetition for 10 experimental weeks. Dietary treatments consisted of a control diet and the inclusion of 24 mg/kg of L-carnitine. The inclusion of L-carnitine did not change ($P > 0.05$) laying intensity, food intake, mass conversion and percentage of dirty eggs. However, this experimental treatment (L-carnitine) increased egg weight (63.35 vs. 65.68 g) in relation to control diet ($P < 0.05$). In addition, the inclusion of L-carnitine did not modify ($P > 0.05$) albumen height, Haugh unit, eggshell strength and yolk color at week 90. However, L-carnitine increased ($P < 0.05$) eggshell thickness with respect to control treatment. At week 95, L-carnitine did not modify ($P > 0.05$) any indicator of egg external and internal quality. The inclusion of L-carnitine in diets for Hy-Line Brown® laying hens increases egg weight and eggshell thickness at week 90, without significant changes in the other egg quality and productive indicators at week 95 of age.

Key words: 3-hydroxy-4-trimethylaminobutyrate, additive, productive indicator, egg modifications, brown layers

Currently, nutritional programs for new hybrids of laying hens are based on maximizing genetic expression, mainly to maintain a profitable egg production up to 100 weeks of age (Martínez *et al.* 2021a). With this objective, progress has been made in obtaining various natural and synthetic additives, which promote or modify, and both, the immune response, antioxidant capacity, absorption of nutrients and productive response of hens, as in the case of probiotics, prebiotics, phytobiotics, organic acids, bioactive peptides and L-carnitine (Adedokun and Olojede 2019). According to Ali *et*

Para evaluar el efecto de la inclusión de la L-carnitina en la productividad y calidad del huevo de gallinas ponedoras, se distribuyeron al azar en dos tratamientos un total de 200 aves de la línea genética Hy-Line Brown® de 85 semanas de edad, con 20 repeticiones/tratamiento y cinco aves/repetición durante 10 semanas experimentales. Los tratamientos dietéticos consistieron en una dieta control y la inclusión de 24 mg/kg de L-carnitina. La inclusión de L-carnitina no cambió ($P > 0.05$) la intensidad de puesta, consumo de alimento, conversión masal y porcentaje de huevos sucios. Sin embargo, este tratamiento experimental (L-carnitina) incrementó el peso del huevo (63.35 vs 65.68 g) con relación a la dieta control ($P < 0.05$). También, en la semana 90, la inclusión de L-carnitina no modificó ($P > 0.05$) la altura del albumen, unidad Haugh, resistencia a la ruptura de la cáscara y color de la yema. Sin embargo, L-carnitina incrementó ($P < 0.05$) el grosor de la cáscara del huevo con respecto al tratamiento control. En la semana 95, la L-carnitina no modificó ($P > 0.05$) ningún indicador de la calidad externa e interna del huevo. La inclusión de L-carnitina en las dietas de gallinas ponedoras Hy-Line Brown® incrementa el peso del huevo y grosor de la cáscara en la semana 90, sin cambios significativos en los otros indicadores productivos y de calidad del huevo en la semana 95 de edad.

Palabras clave: 3-hidroxi-4-trimetilaminobutirato, aditivo, indicador productivo, ovo modificaciones, ponedoras pardas.

En la actualidad, los programas nutricionales para los nuevos híbridos de gallinas ponedoras se basan en potenciar al máximo la expresión genética, principalmente para mantener una producción de huevos rentable hasta las 100 semanas de edad (Martínez *et al.* 2021a). Con este objetivo, se han logrado avances en la obtención de varios aditivos naturales y sintéticos, que promueven o modifican, y ambos, la respuesta inmune, capacidad antioxidante, absorción de los nutrientes y respuesta productiva de las aves, como es el caso de los probióticos, prebióticos, fitobióticos, ácidos orgánicos, péptidos bioactivos y L-carnitina (Adedokun y Olojede 2019). Según Ali *et al.* (2021), los aditivos se

al. (2021), additives have been commonly used in the nutrition of apparently healthy laying hens and in the face of different challenges to contribute to the normal development of physiological functions and to compensate for their deficiencies.

Human and animal nutrition have recommended the oral use of L-carnitine, which is a water-soluble, bipolar ionic compound, synthesized *in vivo* from lysine and methionine (McCann *et al.* 2021). This compound (L-carnitine) increases the transport of long-chain fatty acids through the inner membrane of mitochondria for β oxidation and to eliminate toxic accumulations of fatty acids in the mitochondria (García-Flores *et al.* 2021), which causes increased cellular energy production (ATP). Although L-carnitine is endogenously biosynthesized in certain tissues such as the liver, kidneys and brain (Koeth *et al.* 2019), its absorption and use are exacerbated under conditions of maximum production and stress, regulated by nuclear receptors sensitive to specific nutrients (Ringseis *et al.* 2012).

The use of L-carnitine has been extensively studied in poultry (Adabi *et al.* 2011). Ringseis *et al.* (2018) mentioned that L-carnitine has a non-antibiotic growth promoting effect, stimulates immunity, reduces oxidative stress due to its antioxidant effect and improves semen quality (Xu *et al.* 2003 and Khan 2011). Specifically, in laying hens, Celik *et al.* (2004) and Kita *et al.* (2005) reported that L-carnitine improves internal egg quality and production, with better emphasis on albumen. However, other authors found no positive response in laying hens, when using up to 500 mg/kg of L-carnitine in different feeding schemes (Corduk and Sarica 2008 and Daskiran *et al.* 2009). Few studies have been carried out to elucidate the influence of L-carnitine on the productive response of new hybrids of laying hens with other nutritional requirements and with higher persistence in laying intensity (Hy-Line Brown 2020).

The objective of this study was to evaluate the effect of the inclusion of L-carnitine on egg quality and productivity of 85-week-old Hy-Line Brown® laying hens.

Materials and Methods

Experimental location. The study was developed at the Poultry Research and Teaching Center of the Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, located in Valle del Yegüare, San Antonio de Oriente municipality, Francisco Morazán department, km 32 from the Tegucigalpa to Danlí highway. This location has a height of 800 m.a.s.l., mean annual temperature is 27 °C and mean annual rainfall is 1.100 mm.

Animals, experimental design and treatments. A total of 200 Hy-Line Brown® laying hens, 85 weeks old, were randomly distributed into two treatments, with 20 repetitions each, and five animals per repetition

han utilizado comúnmente en la nutrición de las gallinas ponedoras aparentemente sanas y ante diferentes desafíos para contribuir con el desarrollo normal de las funciones fisiológicas y compensar sus deficiencias.

La nutrición humana y animal ha recomendado el uso oral de L-carnitina, que es un compuesto iónico bipolar, soluble en agua, sintetizado *in vivo* a partir de la lisina y metionina (McCann *et al.* 2021). Este compuesto (L-carnitina) incrementa el transporte de los ácidos grasos de cadena larga a través de la membrana interna de las mitocondrias para la β oxidación y para eliminar las acumulaciones tóxicas de los ácidos grasos en las mitocondrias (García-Flores *et al.* 2021), lo que provoca mayor producción de energía celular (ATP). Aunque la L-carnitina se biosintetiza de forma endógena en ciertos tejidos como el hígado, riñones y cerebro (Koeth *et al.* 2019), su absorción y utilización se exagera en condiciones de máxima producción y estrés, reguladas por receptores nucleares sensibles a nutrientes específicos (Ringseis *et al.* 2012).

El uso de la L-carnitina ha sido ampliamente estudiado en las aves (Adabi *et al.* 2011). Ringseis *et al.* (2018) mencionaron que la L-carnitina tiene efecto promotor de crecimiento no antibiótico, estimula la inmunidad, reduce el estrés oxidativo por su efecto antioxidante y mejora de la calidad del semen de los reproductores (Xu *et al.* 2003 y Khan 2011). Específicamente, en gallinas ponedoras, Celik *et al.* (2004) y Kita *et al.* (2005) informaron que la L-carnitina mejora la producción y calidad interna del huevo, con mayor énfasis en el albumen. Sin embargo, otros autores no encontraron una respuesta positiva en gallinas ponedoras, al usar hasta 500 mg/kg de L-carnitina en diferentes esquemas alimentarios (Corduk y Sarica 2008 y Daskiran *et al.* 2009). Pocos estudios se han realizado para dilucidar la influencia de la L-carnitina en la respuesta productiva de nuevos híbridos de gallinas ponedoras con otros requerimientos nutricionales y con mayor persistencia en la intensidad de postura (Hy-Line Brown 2020).

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la inclusión de L-carnitina en la productividad y calidad del huevo de gallinas ponedoras Hy-Line Brown® de 85 semanas de edad.

Materiales y Métodos

Ubicación experimental. El estudio se desarrolló en el Centro de Investigación y Enseñanza Avícola de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, ubicada en el Valle del Yegüare, municipio de San Antonio de Oriente, departamento de Francisco Morazán, km 32 de la carretera Tegucigalpa a Danlí. La localidad presenta una altura de 800 m s.n.m., la temperatura anual promedio es de 27 °C y la precipitación media anual de 1.100 mm.

Animales, diseño experimental y tratamientos. Un total de 200 gallinas ponedoras de la línea genética Hy-Line Brown®, de 85 semanas de edad, se distribuyeron al azar en dos tratamientos, con 20 repeticiones cada uno, y cinco

during 10 experimental weeks. Dietary treatments consisted of a control diet and the inclusion of 24 mg/kg of L-carnitine, according to the manufacturer's recommendations (AVIGAN, Honduras). Table 1 shows the ingredients and nutritional contributions of the experimental diets.

aves por repetición durante 10 semanas experimentales. Los tratamientos dietéticos consistieron en una dieta control y la inclusión de 24 mg/kg de L-carnitina, según las recomendaciones del fabricante (AVIGAN, Honduras). En la tabla 1 se muestran los ingredientes y aportes nutricionales de las dietas experimentales.

Table 1. Ingredients and nutritional contributions for Hy-Line Brown® laying hens

Ingredients, %	Treatments	
	Control	L-carnitine
Corn meal	62.70	62.676
Soybean meal	24.63	24.63
Choline chloride	0.05	0.05
African palm raw oil	0.30	0.30
Mineral and vitamin premix ¹	0.20	0.20
Salt	0.35	0.35
Biofos®	1.67	1.67
Thin calcium carbonate	3.34	3.34
Coarse calcium carbonate	6.21	6.21
Mycotoxin sequestrant	0.12	0.12
DL-Methionine	0.25	0.25
L-Lysine	0.10	0.10
L-Threonine	0.08	0.08
L-carnitine	0.00	0.024
Nutritional contributions		
Metabolizable energy, MJ/kg	11.30	11.30
Crude protein, %	15.52	15.52
Ca, %	4.24	4.24
Available P, %	0.34	0.34
Lysine, %	0.72	0.72
Methionine + cystine, %	0.65	0.65
Threonine, %	0.51	0.51

¹Mineral and vitamin premix: vit. A, 1,000 IU/kg; vit. D₃, 2,000 IU/kg; vit. E, 30 IU/kg; vit. K₃, 2.0 mg/kg; vit. B₁, 1.0 mg/kg; vit. B₂, 6.0 mg/kg; vit. B₆, 3.5 mg/kg; vit. B₁₂, 18 mg/kg; niacin, 60 mg/kg; pantothenic acid, 10 mg/kg; biotin, 10 mg/kg; folic acid, 0.75 mg/kg; choline, 250 mg/kg; iron, 50 mg/kg; copper, 10 mg/kg; zinc, 70 mg/kg; manganese, 70 mg/kg; selenium, 0.30 mg/kg; iodine, 1.0 mg/kg

Experimental conditions. The laying hens were housed in a 400 m² commercial shed, in 61×36 cm cages, with ceiling fans and an artificial lighting system. Water was offered *ad libitum* in two nipple drinkers per cage and food intake was restricted to 115 g/d/hen in linear feeders. Sixteen hours of light were provided each day, and no therapeutic veterinary care was used during the experimental stage. To achieve adequate adaptation to the new diets, a 7-day pre-experimental feeding phase was used, recommended by Abd El-Hack *et al.* (2015).

Productive performance. To determine egg weight, 50 eggs were collected weekly per each treatment, between 8:30 a.m. and 9:30 a.m. Eggs were weighed

Condiciones experimentales. Las gallinas ponedoras se alojaron en un galpón comercial de 400 m², en jaulas de 61 × 36 cm, con ventiladores de techo y un sistema de iluminación artificial. El agua se ofreció *ad libitum* en dos bebederos tetina por jaula y el consumo de alimento se restringió a 115 g/d/ave en comederos lineales. Se suministraron 16 h de luz cada día y no se utilizó atención veterinaria terapéutica durante la etapa experimental. Para lograr una adaptación adecuada a las nuevas dietas, se utilizó una fase de alimentación pre-experimental de 7 d, recomendada por Abd El-Hack *et al.* (2015).

Comportamiento productivo. Para determinar el peso del huevo, se recolectaron semanalmente 50 huevos por cada tratamiento, entre las 8:30 a.m. y 9:30 a.m. Los huevos

on an OHAUS® digital technical balance (New Jersey, USA), with an accuracy of ± 0.1 g. Food intake was determined three times a week, according to the offer and reject method (Martínez *et al.* 2021a). For laying intensity, total egg production/week/treatment was considered. One egg/d/hen was assumed, nested as 100 %. Mass conversion was calculated from the formula:

$$MC = \frac{\text{Food intake}}{\text{Number of eggs} \times \text{egg weight}}$$

Egg external and internal quality. At week 90 and 95, 30 eggs were collected per each experimental treatment. All were collected at the same time and transferred to the egg quality laboratory of the Poultry Research and Teaching Center of Zamorano Pan-American Agricultural School. Egg quality was analyzed on the same day of collection using an automatic TSS EggQuality analyzer (York, England) and Eggware v 4x program. Resistance to rupture of the eggshell (middle pole) was measured with a QC-SPA® resistance analyzer (York, England).

For analyzing egg shell thickness (EST) (middle pole), a QC-SPA® micrometer screw (York, England) was used, with a precision of ± 0.001 mm. For internal egg quality and albumen height (AH), a QHC® height analyzer (York, England) was used with a precision of ± 0.01 mm. Haugh unit was calculated with the following formula:

$$HU = 100 * \log (AH + 1.7EW^{0.37} + 7.6)$$

where:

HU is Haugh unit

AH is albumen height

EW is egg weight

Yolk color (YC) was evaluated using a CCC® electronic colorimeter (York, England), which considers the Roche scale of 15 colors.

Statistical analysis. Data was analyzed by T Students test for two independent samples. Yolk color was determined by the non-parametric U-Mann Whitney test. Values of $P < 0.05$ were taken to indicate significant differences. The SPSS 23.0.1.2014 program (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) was used for statistical analyzes. In addition, dirty eggs were determined by comparison of proportions, using the COMPRAPRO 1.0® program (Font *et al.* 2007).

Results and Discussion

Table 2 shows the effect of L-carnitine on the main productive indicators of laying hens from 85 to 95 weeks of age. The inclusion of L-carnitine did not change significantly ($P > 0.05$) laying intensity, food intake, mass conversion and percentage of dirty eggs. However, this experimental treatment (L-carnitine) increased egg weight in relation to control diet ($P < 0.05$).

The inclusion of L-carnitine promoted egg weight by 3.68 % in relation to control treatment (table 2). Yalçın

se pesaron en una balanza técnica digital OHAUS® (Nueva Jersey, EE.UU.), con precisión de ± 0.1 g. El consumo de alimentos se determinó tres veces por semana, según el método de oferta y rechazo (Martínez *et al.* 2021a). Para la intensidad de puesta, se consideró la producción total de huevos/semana/tratamiento. Se asumió un huevo/d/ave, alojado como 100 %. La conversión masal se calculó a partir de la fórmula:

$$CM = \frac{\text{Consumo de alimento}}{\text{Número de huevos} \times \text{peso del huevo}}$$

Calidad externa e interna del huevo. En las semanas 90 y 95, se recolectaron 30 huevos por cada tratamiento experimental. Todos los huevos se recolectaron al mismo tiempo y se trasladaron al laboratorio de calidad de huevo del Centro de Investigación y Enseñanza de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. La calidad del huevo se analizó el mismo día de la recolección mediante un analizador automático TSS EggQuality (York, Inglaterra) y el software Eggware v 4x. La resistencia a la ruptura de la cáscara del huevo (polo medio) se midió con un analizador de resistencia QC-SPA® (York, Inglaterra).

Para el grosor de la cáscara (GC) del huevo (polo medio), se utilizó un tornillo micrómetro QC-SPA® (York, Inglaterra), con precisión de ± 0.001 mm. Para la calidad interna y la altura del albumen (AH) se utilizó un analizador de altura QHC® (York, Inglaterra), con precisión de ± 0.01 mm.

La unidad Haugh se calculó con la fórmula siguiente:

$$UH = 100 * \log (AH + 1.7PH^{0.37} + 7.6)$$

Donde:

UH es la unidad Haugh

AH es la altura de la albúmina

PH es el peso del huevo.

El color de la yema (CY) se evaluó mediante un colorímetro electrónico CCC® (York, Inglaterra), que considera la escala de Roche de 15 colores.

Análisis estadístico. Los datos se analizaron por la prueba T de Student para dos muestras independientes. El color de la yema se determinó por la prueba no paramétrica U-Mann Whitney. Se tomaron valores de $P < 0.05$ para indicar diferencias significativas. Se utilizó el programa SPSS 23.0.1.2014 (SPSS Inc., Chicago, IL, EE. UU.) para los análisis estadísticos. Además, los huevos sucios se determinaron por comparación de proporciones, con la utilización del programa COMPRAPRO 1.0® (Font *et al.* 2007).

Resultados y Discusión

En la tabla 2 se muestra el efecto de L-carnitina en los principales indicadores productivos de gallinas ponedoras de 85 a 95 semanas de edad. La inclusión de L-carnitina no cambió significativamente ($P > 0.05$) la intensidad de puesta, consumo de alimento, conversión masal y porcentaje de huevos sucios. Sin embargo, este tratamiento experimental (L-carnitina) incrementó el peso del huevo en relación con la dieta control ($P < 0.05$).

La inclusión de L-carnitina promovió el peso del huevo

Table 2. Effect of the inclusion of L-carnitine on productive indicators of laying hens (85-95 weeks old)

Indicators	Experimental treatments		SE \pm	P value
	Control	L-carnitine		
Laying intensity, %	80.18	81.94	2.760	0.532
Food intake, g/hen	102.72	103.43	0.411	0.100
Egg weight, g	63.35	65.68	0.653	0.002
Mass conversion, kg/kg	2.03	1.93	0.077	0.219
Dirty eggs, %	1.24	1.18	0.060	0.091

et al. (2005) found that the inclusion of L-carnitine in the diet of laying quail increased egg weight, without changes for its production. Furthermore, Suchý *et al.* (2008) reported that L-carnitine improved egg weight and production of the common pheasant (*Phasianus colchicus*). However, studies by Yalçın *et al.* (2006), Corduk *et al.* (2008) and Rezaei *et al.* (2008) do not refer noticeable changes in egg weight, when they used L-carnitine in diets of laying poultry.

It is known that L-carnitine increases β -oxidation of fatty acids and adenosine triphosphate (ATP) production and, in turn, the cellular energy yield (McCann *et al.* 2021). Apparently, this mitochondrial biochemical effect caused an increase of egg weight (Rizk *et al.* 2019), especially at this productive age (85-95 weeks), in which the animal decreases productivity and increases egg weight, due to the decrease in sex hormones and the correlation among bird weight, oviduct weight and egg weight, respectively (Hy-Line Brown 2020). Also, energy efficiency has a direct relationship with egg weight (Ewonetu and Kasaye 2018). In this sense, Barzegar *et al.* (2020) informed that a more efficient energy utilization improved egg weight in Hy-Line Brown laying hens.

The dietary use of L-carnitine did not change egg production (table 2). Similar results were found by Corduk and Sarica (2008), when they used up to 500 mg/kg of L-carnitine in diets with different sources of fatty acids and metabolizable energy in laying hens. However, Kazemi-Fard *et al.* (2015) reported that the dietary use of 100 and 150 mg/kg of L-carnitine increased egg production by 7.81 and 10.74 % in laying hens, respectively, because this additive (L-carnitine) improves lipolysis and liver protection. Likewise, Neuman *et al.* (2002) reported that L-carnitine supplementation increased mitochondrial energy production and, in turn, laying intensity of this birds. Apparently, the use of 24 mg/kg of L-carnitine (recommended by the manufacturer) and the experimental age (85-95 weeks) of laying hens influenced on the fact that no changes were found in egg production (table 2).

The optimal experimental conditions could also have a direct influence on these results (egg production) (table 2), since the use of L-carnitine in the diet or in drinking water has been recommended under stress conditions (Liu *et al.* 2021). According to Çetin and

en 3.68 % en relación con el tratamiento control (tabla 2). Yalçın *et al.* (2005) encontraron que la inclusión de L-carnitina en la dieta de codornices ponedoras incrementó el peso del huevo, sin cambios para su producción. Además, Suchý *et al.* (2008) informaron que la L-carnitina mejoró la producción y peso del huevo del faisán común (*Phasianus colchicus*). Sin embargo, en estudios realizados por Yalçın *et al.* (2006), Corduk *et al.* (2008) y Rezaei *et al.* (2008) no se refieren cambios notables en el peso del huevo, cuando utilizaron L-carnitina en las dietas de aves ponedoras.

Es conocido que la L-carnitina incrementa la β -oxidación de los ácidos grasos y la producción de adenosín trifosfato (ATP) y, a su vez, el rendimiento energético celular (McCann *et al.* 2021), al parecer este efecto bioquímico mitocondrial provocó aumento del peso del huevo (Rizk *et al.* 2019), sobre todo en esta edad productiva (85-95 semanas), en la que el ave disminuye la productividad e incrementa el peso del huevo, debido a la disminución de las hormonas sexuales y a la correlación entre el peso del ave, peso del oviducto y peso del huevo, respectivamente (Hy-Line Brown 2020). También la eficiencia energética tiene una relación directa con el peso del huevo (Ewonetu y Kasaye 2018). En este sentido, Barzegar *et al.* (2020) informaron que la utilización más eficiente de la energía mejoró el peso del huevo en gallinas ponedoras Hy-Line Brown.

El uso dietético de L-carnitina no cambió la producción de huevo (tabla 2). Resultados similares encontraron Corduk y Sarica (2008), cuando utilizaron hasta 500 mg/kg de L-carnitina en dietas con diferentes fuentes de ácidos grasos y energía metabolizable en gallinas ponedoras. Sin embargo, Kazemi-Fard *et al.* (2015) informaron que el empleo dietético de 100 y 150 mg/kg de L-carnitina incrementó la producción de huevo en 7.81 y 10.74 % en gallinas ponedoras, respectivamente, debido a que este aditivo (L-carnitina) mejora la lipólisis y la protección hepática. Asimismo, Neuman *et al.* (2002) informaron que la suplementación con L-carnitina incrementó la producción de energía mitocondrial y, a su vez, la intensidad de postura en aves ponedoras. Al parecer, el empleo de 24 mg/kg de L-carnitina (recomendado por el fabricante) y la edad experimental (85-95 semanas) de las gallinas ponedoras influyeron en que no se encontraran cambios en la producción de huevo (tabla 2).

Las óptimas condiciones experimentales también podrían tener una influencia directa en estos resultados

Güçlü (2020), supplementation with 200 mg/kg of L-carnitine in hens with high densities increased the activity of endogenous antioxidant enzymes and decreased serum level of malondialdehyde and nitrous oxide. Likewise, Güçlü *et al.* (2011) reported that L-carnitine reduced lipid peroxidation in laying hens fed high Cu concentrations, although without improvements for productivity. Apparently, this experiment allowed animals to express their maximum productive potential, considering that egg production (75 vs. 81.94 %) for these experimental weeks was higher than that indicated in the Hy-Line Brown manual (2020).

Food intake also remained unchanged among treatments (table 2). There is no scientific evidence that this additive (L-carnitine) promotes food intake. Yalçın *et al.* (2005), Yalçın *et al.* (2006) and Rezaei *et al.* (2008) found no changes in food intake, when evaluating L-carnitine in laying hens and quail. Likewise, Corduk and Sarica (2008), when studying the dietary effect of 500 mg/kg of L-carnitine on the productivity of laying hens fed saturated and unsaturated diets, found that food intake and mass conversion had no significant changes among treatments. Although egg weight increased in this experiment (table 2), mass conversion was not different among treatments (table 2). However, Kazemi *et al.* (2015) reported that higher productivity improved egg mass.

At week 90, the inclusion of L-carnitine did not modify ($P > 0.05$) albumen height, Haugh unit, eggshell strength and yolk color. However, L-carnitine increased ($P < 0.05$) eggshell thickness with respect to control treatment. At week 95, the dietary use of L-carnitine did not modify any indicator of egg external and internal quality (table 3).

(producción de huevo) (tabla 2), ya que el empleo de L-carnitina en la dieta o en el agua de bebida se ha recomendado en condiciones de estrés (Liu *et al.* 2021). Según Çetin y Güçlü (2020), la suplementación con 200 mg/kg de L-carnitina en gallinas con altas densidades incrementó la actividad de las enzimas antioxidantes endógenas y disminuyó el nivel sérico de malondialdehído y óxido nítrico. Asimismo, Güçlü *et al.* (2011) informaron que la L-carnitina redujo la peroxidación lipídica en gallinas ponedoras alimentadas con altas concentraciones de Cu, aunque sin mejoras para la productividad. Al parecer, este experimento permitió que las aves expresaran su máximo potencial productivo, al considerar que la producción de huevo (75 vs 81.94 %) para estas semanas experimentales fue mayor a lo indicado en el manual de Hy-Line Brown (2020).

También el consumo de alimento se mantuvo sin variaciones entre tratamientos (tabla 2). No existe evidencia científica de que este aditivo (L-carnitina) promueva el consumo de alimento. Yalçın *et al.* (2005), Yalçın *et al.* (2006) y Rezaei *et al.* (2008) no encontraron cambios en el consumo de alimento, al evaluar la L-carnitina en gallinas ponedoras y codornices. Asimismo, Corduk y Sarica (2008), al estudiar el efecto dietético de 500 mg/kg de L-carnitina en la productividad de gallinas ponedoras alimentadas con dietas saturadas e insaturadas, constataron que el consumo de alimento y la conversión masal se mantuvo sin cambios significativos entre tratamientos. A pesar de que el peso del huevo se incrementó en este experimento (tabla 2), la conversión masal no fue diferente entre tratamientos (tabla 2). Sin embargo, Kazemi *et al.* (2015) reportaron que una mayor productividad mejoró a su vez la masa del huevo.

En la semana 90, la inclusión de L-carnitina no modificó ($P > 0.05$) la altura del albumen, unidad Haugh, resistencia a la ruptura de la cáscara y color de la yema.

Table 3. Effect of L-carnitine inclusion on egg external and internal quality of laying hens

Egg quality	Experimental treatments		SE ±	P Value
	Control	L-carnitine		
Week 90				
Albumen height, mm	11.41	11.42	0.346	0.992
Haugh unit	103.82	104.29	1.550	0.761
Eggshell strength, kgF/cm ²	3548.63	3546.73	17.690	0.617
Eggshell thickness, mm	0.29	0.32	0.008	0.010
Yolk color	3.00 (0.354)	3.00 (0.712)		0.482
Week 95				
Albumen height, mm	10.78	11.06	0.345	0.410
Haugh unit	101.96	102.39	1.477	0.769
Eggshell strength, kgF/cm ²	3906.63	4010.03	19.661	0.597
Eggshell thickness, mm	0.39	0.38	0.018	0.056
Yolk color	3.00 (0.615)	3.00 (0.581)		0.417

Apparently, the use of 24 mg/kg of L-carnitine in the diets of the animals under study (85-95 weeks) did not influence on protein synthesis in albumen and, therefore, on the height of this edible structure (albumen) and Haugh unit (table 3), since these indicators (albumen height and Haugh unit) are highly correlated and are considered for evaluating egg freshness and its storage time on the shelf (Martínez *et al.* 2021b).

Similar results were found by Yalçın *et al.* (2006), when they used 100 mg/kg of L-carnitine in diets for laying hens, 22-40 weeks of age. Likewise, Daşkiran *et al.* (2009) found no notable changes in egg internal quality, when using 150 mg/kg of L-carnitine in laying hens between 62 and 72 weeks of age. However, Rabie *et al.* (1997) and Kita *et al.* (2005) reported that supplementation with 50 and 500 mg/kg of L-carnitine in laying hens improved albumen quality and Haugh unit, due to the increase of the metabolic rate for egg formation in the magnum and the stimulation of ovomucin secretion, respectively. Also, Ghods-Alavi *et al.* (2017) demonstrated that the inclusion of 100 mg/kg of L-carnitine, in laying hens, increased albumen height and Haugh unit, probably due to a better albumen/yolk ratio and a decrease of harmful lipids in egg yolk (mainly cholesterol). According to Rabie *et al.* (1997), results of the use of L-carnitine in laying hens are influenced by the concentration of the additive, chemical composition of feed ingredients, age, health status and experimental conditions.

It was interesting that the inclusion of L-carnitine increased eggshell thickness of laying hens at 90 weeks of age (table 3). Corduk and Sarica (2008) reported improvements in shell thickness, when they used 500 mg/kg of L-carnitine. According to Förster *et al.* (2021), L-carnitine can modulate cell antioxidant activity against different pro-oxidant factors.

Abad *et al.* (2021) reported that antioxidant products reduce oxidative stress in the gastrointestinal tract (GIT), which translates into a better productive response and egg quality. Thus, this product (L-carnitine) could improve calcium absorption in the intestinal lumen and incorporate a greater quantity of this mineral (calcite) in the uterus for the eggshell formation. According to Barret *et al.* (2019) the deterioration of shell quality is an indicator related to the stress of laying hens. However, further research is necessary to confirm this hypothesis, because no notable changes were found among treatments at week 95 (table 3).

Despite the results in shell thickness, L-carnitine did not influence on eggshell strength in both experimental weeks (table 3). Martínez *et al.* (2021b) did not find a positive correlation between eggshell thickness and strength in white eggs. Yalçın *et al.* (2006), Parizadian *et al.* (2011) and Ghods-Alavi *et al.* (2017) reported similar results, when they evaluated

Sin embargo, la L-carnitina incrementó ($P < 0.05$) el grosor de la cáscara del huevo con respecto al tratamiento control (tabla 3). En la semana 95, el empleo dietético de L-carnitina no modificó ningún indicador de calidad externa e interna del huevo (tabla 3).

Al parecer, la utilización de 24 mg/kg de L-carnitina en las dietas de las aves en estudio (85-95 semanas) no influyó en la síntesis de proteína en el albumen y, por ende, en la altura de esta estructura comestible (albumen) y unidad Haugh (tabla 3), ya que estos indicadores (altura del albumen y unidad Haugh) están altamente correlacionados y se consideran para evaluar la frescura del huevo y su tiempo de almacenamiento en el anaquel (Martínez *et al.* 2021b).

Resultados similares encontraron Yalçın *et al.* (2006), cuando utilizaron 100 mg/kg de L-carnitina en las dietas para gallinas ponedoras de 22-40 semanas de edad. Asimismo, Daşkiran *et al.* (2009) no encontraron cambios notables en la calidad interna del huevo, al utilizar 150 mg/kg de L-carnitina en gallinas ponedoras de 62 a 72 semanas de edad. Sin embargo, Rabie *et al.* (1997) y Kita *et al.* (2005) refirieron que la suplementación con 50 y 500 mg/kg de L-carnitina en gallinas ponedoras mejoró la calidad del albumen y unidad Haugh, debido al incremento de la tasa metabólica para la formación del huevo en el magnum y a la estimulación de la secreción de la ovomucina, respectivamente. También, Ghods-Alavi *et al.* (2017) demostraron que la inclusión de 100 mg/kg de L-carnitina en gallinas ponedoras incrementó la altura del albumen y unidad Haugh, quizás debido a la mejor relación de albumen/yema y a la disminución de los lípidos perjudiciales en la yema del huevo (principalmente colesterol). Según Rabie *et al.* (1997), en los resultados del uso de la L-carnitina en gallinas ponedoras influyen la concentración del aditivo, composición química de los ingredientes alimenticios, edad, estado de salud y condiciones experimentales.

Resultó interesante que la inclusión con L-carnitina incrementó el grosor de la cáscara del huevo de gallinas ponedoras con 90 semanas de edad (tabla 3). Corduk y Sarica (2008) informaron mejoras en el grosor de la cáscara, cuando utilizaron 500 mg/kg de L-carnitina. Según Förster *et al.* (2021), la L-carnitina puede modular la actividad antioxidante celular ante diferentes factores pro-oxidantes.

Abad *et al.* (2021) habían informado que los productos antioxidantes reducen el estrés oxidativo en el tracto gastrointestinal (TGI), lo que se traduce en mejor respuesta productiva y calidad del huevo. Podría así este producto (L-carnitina) mejorar la absorción del calcio en el lumen intestinal e incorporar mayor cantidad de este mineral (calcita) en el útero para la formación de la cáscara. Según Barret *et al.* (2019), el deterioro de la calidad de la cáscara es un indicador relacionado con el estrés de las gallinas ponedoras. Sin embargo, es necesario realizar otras investigaciones para confirmar esta hipótesis, porque en la semana 95 no se encontraron cambios notables entre tratamientos (tabla 3).

A pesar de los resultados en el grosor de la cáscara,

the use of L-carnitine in laying birds. It should be noted that the data found for eggshell strength at week 95 (4,010.53 kgF/cm²) is higher than those stipulated by the genetic line (3,940 kgF/cm²; Hy-Line Brown 2020), which shows that shell quality was not affected by the dietary use of L-carnitine.

Also, a higher yolk pigmentation has been related to the reduction of oxidative stress in the GIT and with higher absorption of carotenoid pigments (Galamatis *et al.* 2021). The use of 24 mg/kg of L-carnitine did not modify yolk pigmentation under these experimental conditions (table 3). In both experimental groups, a similar content of yellow corn, rich in zeaxanthin, was recorded (table 1) as the main pigment of the diet (Calvo-Brenes and O'Hare 2020). These results coincide with those of Celik *et al.* (2004) and Daşkıran *et al.* (2009), who concluded that L-carnitine did not change yolk quality (weight and color pigmentation) in laying hens.

The inclusion of 24 mg/kg of L-carnitine in diets for Hy-Line Brown laying hens (85-95 weeks of age) increases egg weight and shell thickness at week 90, without significant changes for other productive and quality indicators of the egg at week 95 of age.

Conflict of interest

The authors declare that there are no conflicts of interests among them

Author's contribution

R. L. Zelaya: Conceptualization, Investigation, Formal analysis, Writing – original draft

J. J. Ríos: Conceptualization, Investigation, Formal analysis, Writing – original draft

P. E. Paz: Conceptualization, Formal analysis

S. López: Formal analysis

M. Valdivié: Formal analysis, Writing – original draft

Y. Martínez: Conceptualization, Investigation, Formal analysis, Writing – original draft

la L-carnitina no influyó en la resistencia a la ruptura de la cáscara del huevo en ambas semanas experimentales (tabla 3). Martínez *et al.* (2021b) no encontraron una correlación positiva entre el grosor y la resistencia a la ruptura de la cáscara en huevos blancos. Yalçın *et al.* (2006), Parizadian *et al.* (2011) y Ghods-Alavi *et al.* (2017) reportaron resultados similares, cuando evaluaron el uso de L-carnitina en aves ponedoras. Se debe destacar que los datos encontrados para la resistencia a la ruptura de la cáscara en la semana 95 (4010.53 kgF/cm²) son mayores que los estipulados por la línea genética (3940 kgF/cm²; Hy-Line Brown 2020), lo que demuestra que la calidad de la cáscara no se afectó por el uso dietético de L-carnitina.

También una mayor pigmentación de la yema se ha relacionado con la disminución del estrés oxidativo en el TGI y con mayor absorción de los pigmentos carotenoides (Galamatis *et al.* 2021). El uso de 24 mg/kg de L-carnitina no modificó la pigmentación de la yema en estas condiciones experimentales (tabla 3). En ambos grupos experimentales se registró similar contenido de maíz amarillo rico en zeaxantina (tabla 1), como el principal pigmentante de la dieta (Calvo-Brenes y O'Hare 2020). Estos resultados coinciden con los de Celik *et al.* (2004) y Daşkıran *et al.* (2009), quienes concluyeron que la L-carnitina no cambió la calidad de la yema (peso y pigmentación del color) en gallinas ponedoras.

La inclusión de 24 mg/kg de L-carnitina en las dietas de gallinas ponedoras Hy-Line Brown (85-95 semanas de edad) incrementa el peso del huevo y el grosor de la cáscara en la semana 90, sin cambios significativos para los otros indicadores productivos y de calidad del huevo en la semana 95 de edad.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses en la presente publicación.

Contribución de los autores:

R. L. Zelaya: Conceptualización, Investigación, Análisis formal, Redacción- borrador original

J. J. Ríos: Conceptualización, Investigación, Análisis formal, Redacción- borrador original

P. E. Paz: Conceptualización, Análisis formal

S. López: Análisis formal

M. Valdivié: Análisis formal, Redacción- borrador original

Y. Martínez: Conceptualización, Investigación, Análisis formal, Redacción- borrador original

References

- Abad, P., Arroyo-Manzanares, N., Ariza, J.J., Baños, A. & García-Campaña, A.M. 2021. "Effect of Allium extract supplementation on egg quality, productivity, and intestinal microbiota of laying hens". *Animals*, 11(1): 41, ISSN: 2076-2615. <https://doi.org/10.3390/ani11010041>.
- Abd El-Hack, M., Alagawany, M., Farag, M.R. & Kuldeep, M. 2015. "Use of maize distiller's dried grains with solubles (DDGS) in laying hen diets: trends and advances". *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*, 10(11): 690-707, ISSN: 1683-9919. <https://doi.org/10.3923/ajava.2015.690.707>.
- Adabi, S.G., Cooper, R.G., Ceylan, N. & Corduk, M. 2011. "L-carnitine and its functional effects in poultry nutrition". *World's Poultry Science Journal*, 67(2): 277-296, ISSN: 0043-9339. <https://doi.org/10.1017/S0043933911000304>.
- Adedokun, S.A. & Olojede, O.C. 2019. "Optimizing gastrointestinal integrity in poultry: the role of nutrients and feed additives".

- Frontiers in Veterinary Science, 5, 348, ISSN: 2297-1769. <http://10.3389/fvest.2018.00348>.
- Ali, A., Ponnampalam, E. N., Pushpakumara, G., Cottrell, J.J., Suleria, H.A. & Dunshea, F.R. 2021. "Cinnamon: A natural feed additive for poultry health and production-A review". *Animals*, 11(7): 2026, ISSN: 2076-2615. <https://doi.org/10.3390/ani11072026>.
- Barrett, N.W., Rowland, K., Schmidt, C.J., Lamont, S.J., Rothschild, M.F., Ashwell, C.M. & Persia, M.E. 2019. "Effects of acute and chronic heat stress on the performance, egg quality, body temperature, and blood gas parameters of laying hens". *Poultry Science*, 98(12): 6684-6692, ISSN: 0032-5791. <https://doi.org/10.3382/ps/pez541>.
- Barzegar, S., Wu, S.B., Choct, M. & Swick, R.A. 2020. "Implementation of net energy evaluating system in laying hens: Validation by performance and egg quality". *Poultry Science*, 99(5): 2624-2632, ISSN: 0032-5791. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.01.012>.
- Calvo-Brenes, P. & O'Hare, T. 2020. "Effect of freezing and cool storage on carotenoid content and quality of zeaxanthin-biofortified and standard yellow sweet-corn (*Zea mays* L.)". *Journal of Food Composition and Analysis*, 86: 103353, ISSN: 0889-1575. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103353>.
- Celik, L., Tekeli, A. & Oztürkcan, O. 2004. "Effects of supplemental L-carnitine in drinking water on performance and egg quality of laying hens exposed to a high ambient temperature". *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 88: 229-233, ISSN: 1439-0396. <http://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2004.00477.x>.
- Çetin, E. & Güçlü, B.K. 2020. "Effect of dietary l-carnitine supplementation and energy level on oxidant/antioxidant balance in laying hens subjected to high stocking density". *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 104(1): 136-143, ISSN: 1439-0396. <http://doi.org/10.1111/jpn.13210>.
- Corduk, M. & Sarica, S. 2008. "Effects of L-carnitine in layer diets containing different fat sources and energy levels on hen performance and egg quality". *South African Journal of Animal Science*, 38: 260-270, ISSN: 0375-1589.
- Corduk, M., Sarica, S., Calikoglu, E. & Kiralan, M. 2008. "Effects of L-carnitine supplementation to diets with different fat sources and energy levels on fatty acid composition of egg yolk of laying hens". *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(13): 2244-2252, ISSN: 1097-0010. <http://doi.org/10.1002/jsfa.3339>.
- Daşkıran, M., Öno, A.G., Cengiz, Ö., Tatlı, O. & Sarı, M. 2009. "Effects of dietary methionine levels and L-carnitine supplementation on performance and egg quality parameters of layers". *Journal of Animal and Feed Sciences*, 18(4): 650-661, ISSN: 1230-1388. <https://doi.org/10.22358/jafs/66439/2009>.
- Ewonetu, K.S. & Kasaye, A. 2018. "Effect of egg weight on post-hatch performance of White Leghorn chicken breed from day-old to laying age". *Journal of Poultry Research*, 15(2): 16-22, ISSN: 2147-9003.
- Font, P., Noda, A., Aida, C., Torres, C., Verena, T., Herrera, V., Lizazo, D.T., Sarduy, G., Lucia, R., Rodríguez, S., Lourdes, L., Jay, H., Gomez, C. & Sarai, S. 2007. COMPARPRO: Comparación de Proporciones, Versión 1.0. Mayabeque, Cuba.
- Förster, L., Indra, D., Rosenberger, K., Zver, L. & Hofbauer, R. 2021. "L-carnitine exerts a nutrigenomic effect via direct modulation of nuclear receptor signaling in adipocytes, hepatocytes and SKMC, demonstrating its nutritional impact". *Nutrition Research*, 85: 84-98, ISSN: 0271-5317. <http://doi.org/10.1016/j.nutres.2020.11.003>.
- Galamatis, D., Papadopoulos, G.A., Lazari, D., Fletouris, D., Petridou, E., Arsenos, G.I. & Fortomaris, P. 2021. "Effects of dietary supplementation of salvia officinalis L. in organic laying hens on egg quality, yolk oxidative stability and eggshell microbiological counts". *Animals*, 11(9): 2502, ISSN: 2076-2615. <https://doi.org/10.3390/ani11092502>.
- García-Flores, L.A., Green, C.L., Mitchell, S.E., Promislow, D.E., Lusseau, D., Douglas, A. & Speakman, J.R. 2021. "The effects of graded calorie restriction XVII: Multitissue metabolomics reveals synthesis of carnitine and NAD, and tRNA charging as key pathways". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(31): e2101977118, ISSN: 1091-6490. <https://doi.org/10.1073/pnas.2101977118>.
- Ghods-Alavi, B., Samie, H. & Jahanian, R. 2017. "Effects of supplementary dietary L-carnitine on performance and egg quality of laying hens fed diets different in fat level". *Italian Journal of Animal Science*, 9(1): e3, ISSN: 1828-051X. <https://doi.org/10.4081/ijas.2010.e3>.
- Güçlü, B.K., Kara, K., Çakır, L., Çetin, E. & Kanbur, M. 2011. "Carnitine supplementation modulates high dietary copper-induced oxidative toxicity and reduced performance in laying hens". *Biological Trace Element Research*, 144(1): 725-735, ISSN: 0163-4984. <http://doi.org/10.1007/s12011-011-9122-x>.
- Hy-Line Brown. 2020. Management Guide. Available: <https://www.hyline.com/filesimages/Hy-Line-Products/Hy-Line-Product-PDFs/Brown/BRN%20COM%20AUS.pdf>.
- Kazemi-Fard, M., Dirandeh, E. & Rezaei, M. 2015. "Effect of different levels of L-carnitine on the productive performance, egg quality, blood parameters and egg yolk cholesterol in laying hens". *Poultry Science Journal*, 3(2): 105-111, ISSN: 2345-6604. <https://dx.doi.org/10.22069/psj.2015.2647>.
- Khan, R.U. 2011. "Antioxidants and poultry semen quality". *World's Poultry Science Journal*, 67(2): 297-308, ISSN: 0043-9339. <https://doi.org/10.1017/S0043933911000316>.
- Kita, K., Nakajima, S. & Nakagawa, J. 2005. "Dietary L-carnitine supplementation improves albumen quality of laying hens". *The Journal of Poultry Science*, 42(1): 79-83, ISSN: 1349-0486. <https://doi.org/10.2141/jpsa.42.79>.
- Koeth, R.A., Lam-Galvez, B.R., Kirsop, J., Wang, Z., Levison, B.S., Gu, X. & Hazen, S.L. 2019. "L-carnitine in omnivorous diets induces an atherogenic gut microbial pathway in humans". *The Journal of Clinical Investigation*, 129(1): 373-387, ISSN: 1558-8238. <http://doi.org/10.1172/JCI94601>.
- Liu, Y., Yang, Y., Yao, R., Hu, Y., Liu, P., Lian, S. & Li, S. 2021. "Dietary supplementary glutamine and L-carnitine enhanced the anti-cold stress of Arbor Acres broilers". *Archives Animal Breeding*, 64(1): 231-243, ISSN: 0003-9438. <https://doi.org/10.5194/aab-64-231-2021>.
- Martinez, Y., Bonilla, J.L., Sevilla, M.A., Botello, A., Matamorros, I. & Valdiviá, M. 2021a. "Effect of palm kernel (*Elaeis*

- guineensis*) meal on laying, egg quality and economic feasibility of old laying hens". Cuban Journal of Agricultural Science, 55(2): 1-12, ISSN: 2079-3480.
- Martínez, Y., Díaz, N., Bejarano, M.A., Paz, P. & Valdiviá, M. 2021b. "Effect of time and storage methods on daily changes in external and internal egg quality of Dekalb White® laying hens". European Poultry Science, 85, ISSN: 1612-9199. <https://doi.org/10.1399/eps.2021.329>.
- McCann, M.R., George de la Rosa, M.V., Rosania, G.R. & Stringer, K.A. 2021. "L-carnitine and acylcarnitines: Mitochondrial biomarkers for precision medicine". Metabolites, 11(1): 51, ISSN: 2218-1989. <http://doi.org/10.3390/metabo11010051>.
- Neuman, S.L., Lin, T.L. & Heste, P.Y. 2002. "The effect of dietary carnitine on semen traits of white Leghorn roosters". Poultry Science, 81(4): 495-503, ISSN: 0032-5791. <http://doi.org/10.1093/ps/81.4.495>.
- Parizadian, B., Ahangari, Y.J., Shargh, M.S. & Sardarzade, A. 2011. "Effects of different levels of L-carnitine supplementation on egg quality and blood parameters of laying Japanese quail". International Journal of Poultry Science, 10(8): 621-625, ISSN: 1994-7992. <http://doi.org/10.3923/ijps.2011.621.625>.
- Rabie, M.H., Szilágyi, M. & Gippert, T. 1997. "Effects of dietary L-carnitine on the performance and egg quality of laying hens from 65–73 weeks of age". British Journal of Nutrition, 78(4): 615–623, ISSN: 0007-1145. <https://doi.org/10.1079/BJN19970178>.
- Rezaei, M., Dehghani, S., Ghaffari, J. & Haghazadeh, A. 2008. "The effects of different levels of L-carnitine and fat on performance and egg quality of laying hens". Agricultural and Food Science, 17(4): 360-366, ISSN: 1459-6067. <http://doi.org/10.2137/145960608787235540>.
- Ringseis, R., Keller, J. & Eder, K. 2018. "Basic mechanisms of the regulation of L-carnitine status in monogastrics and efficacy of L-carnitine as a feed additive in pigs and poultry". Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 102(6): 1686-1719, ISSN: 1439-0396. <https://doi.org/10.1111/jpn.12959>.
- Ringseis, R., Wen, G. & Eder, K. 2012. "Regulation of genes involved in carnitine homeostasis by PPAR α across different species (rat, mouse, pig, cattle, chicken, and human)". PPAR Research, 2012, 868317, ISSN: 1687-475. <https://doi.org/10.1155/2012/868317>.
- Rizk, Y.S., Fahim, H.N., Beshara, M.M., Mahrose, K.M. & Awad, A.L. 2019. "Response of duck breeders to dietary L-carnitine supplementation during summer season". Anais da Academia Brasileira de Ciências, 91(4): 1-16, ISSN: 0001-3765. <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201920180907>.
- Suchý, P., Straková, E. & Vitula, F. 2008. "The effect of a diet supplemented with L-carnitine on egg production in pheasant (*Phasianus colchicus*)". Czech Journal of Animal Science, 53(1): 31-35, ISSN: 1805-9309. <http://doi.org/10.17221/2720-CJAS>.
- Xu, Z.R., Wang, M.Q., Mao, H.X., Zhan, X.A. & Hu, C.H. 2003. "Effects of L-carnitine on growth performance, carcass composition, and metabolism of lipids in male broilers". Poultry Science, 82(3): 408-413, ISSN: 0032-5791. <http://doi.org/10.1093/ps/82.3.408>.
- Yalçın, S., Ergün, A., Erol, H., Yalçın, S. & Özsoy, B. 2005. "Use of L-carnitine and humate in laying quail diets". Acta Veterinaria Hungarica, 53(3): 361-370, ISSN: 1588-2705. <http://doi.org/10.1556/AVet.53.2005.3.9>.
- Yalçın, S., Ergün, A., Özsoy, B., Yalçın, S., Erol, H. & Onbaşlar, İ. 2006. "The effects of dietary supplementation of L-carnitine and humic substances on performance, egg traits and blood parameters in laying hens". Asian Australasian Journal of Animal Science, 19(10): 1478-1483, ISSN: 1011-2367. <http://doi.org/10.5713/ajas.2006.1478>.

Received: November 5, 2021

Accepted: December 29, 2021