



Calidad de huevo y comportamiento productivo de gallinas ponedoras ISA Brown con acceso a pastoreo¹

Egg quality and productive performance of ISA Brown laying hens with grazing access

Rodolfo WingChing-Jones², Rebeca Zamora-Sanabria², Sianny Chavarría-Zamora²

¹ Recepción: 27 de junio, 2022. Aceptación: 12 de octubre, 2022. Este trabajo formó parte de una investigación realizada en conjunto entre la Escuela de Zootecnia, Centro de Investigación en Nutrición Animal, el Módulo Aviar y Módulo Lechero de la Sede del Atlántico. Unidades Académicas de la Universidad de Costa Rica.

² Universidad de Costa Rica, Escuela de Zootecnia, Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA). San José, Costa Rica. rodolfo.wingching@ucr.ac.cr (autor para correspondencia, <https://orcid.org/0000-0002-8009-2210>), rebeca.zamora@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0002-9679-4647>), sianny.chavarria@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0001-5756-3128>).

Resumen

Introducción. Los sistemas de producción de huevo son fundamentales para la seguridad alimentaria. Las preocupaciones alrededor del bienestar animal incrementan el interés por los sistemas de producción de huevo con acceso a pastoreo. **Objetivo.** Describir los rendimientos productivos, características morfológicas y calidad nutricional de los huevos de gallinas ponedoras de la línea genética ISA Brown en un sistema de piso con acceso a pastoreo. **Materiales y métodos.** La investigación se llevó a cabo entre julio del 2018 y enero del 2020 en el cantón central de Turrialba, Cartago, Costa Rica, con gallinas de la línea genética ISA Brown con acceso a pastoreo. Se compararon los rendimientos productivos con el estándar de la línea genética. Se evaluaron variables morfológicas externas e internas del huevo y se caracterizó el contenido nutricional del mismo (materia seca, proteína cruda, extracto etéreo, cenizas, calcio, fósforo, ácidos grasos saturados (AGS), monoinsaturados (AGMI) y poliinsaturados (AGPI)), en gallinas de diferentes edades. **Resultados.** Los rendimientos productivos no distaron del estándar de la genética. El aumento en la edad del ave tuvo una influencia estadísticamente significativa sobre el incremento en el peso del huevo y de la cáscara, y la disminución del índice morfológico. El análisis nutricional indicó que el aumento en la edad de la gallina disminuyó el contenido de materia seca y la concentración de AGS y AGMI en el huevo. La relación AGPI/AGS de los huevos fue superior a 0,45, indistintamente de la edad de la gallina ponedora. **Conclusión.** Los indicadores productivos de las galinas con acceso a pastoreo no presentaron diferencias con los estándares de la línea genética ISA Brown para sistemas alternativos. El peso, el índice de yema, las unidades Haugh y el índice morfológico del huevo variaron con la edad de la gallina.

Palabras clave: avicultura, rendimiento de postura, rendimiento de huevo, calidad, pastoreo.

Abstract

Introduction. Egg production systems are critical to food security. Concerns about animal welfare are increasing the interest in egg production systems with access to grazing. **Objective.** To describe the productive performances,



Agronomía Mesoamericana es desarrollada en la Universidad de Costa Rica bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. Para más información escriba a pccmca@ucr.ac.cr o pccmca@gmail.com

morphological characteristics, and nutritional quality of the eggs from laying hens of the Isa Brown genetic line in a floor system with access to grazing. **Materials and Methods.** The research was carried out between July 2018 and January 2020 in the central canton of Turrialba, Cartago, Costa Rica, with hens of the Isa Brown genetic line with access to grazing. Productive performances were compared with the standard of the genetic line. External and internal morphological variables of the egg were evaluated and its nutritional content (dry matter, crude protein, ethereal extract, ash, calcium, phosphorus, saturated fatty acids (SFA), monounsaturated (MUFA), and polyunsaturated (PUFA) was characterized in hens of different ages. **Results.** The productive performances was not different from the genetic standard. The increase in bird age had a statistically significant influence on the increase in egg and shell weight, and the decrease in morphological index. Nutritional analysis indicated that increasing hen age decreased the dry matter content and the concentration of SFA and MUFA in the egg. The PUFA/SFA ratio of the eggs was higher than 0.45, regardless of the age of the laying hen. **Conclusion.** The productive indicators of the hens with access to grazing did not differ from ISA Brown genetic line standards for alternative systems. Egg weight, yolk index, Haugh units, and morphology index varied with the age of the hen.

Keywords: poultry, laying performance, egg yield, quality, grazing.

Introducción

Los sistemas de producción de huevo son esenciales para garantizar la seguridad alimentaria del crecimiento poblacional a nivel mundial (Cao & Li, 2013). Debido al incremento en la demanda, el sector avícola propició el desarrollo de empresas que se especializaron en programas de selección de animales con mejor desempeño productivo, tales como las gallinas de la línea genética ISA Brown, animal híbrido que muestra mejores rendimientos productivos que las razas puras (Ianni et al., 2021; Škrbić et al., 2011).

En el mundo, el sistema convencional de jaulas es utilizado como alojamiento para las gallinas ponedoras (Leenstra et al., 2016; Meseret, 2016). Los animales bajo este sistema se encuentran restringidas para expresar comportamientos naturales como correr, darse baños de arena, volar, entre otros (Meseret, 2016), lo que provoca que las preguntas en torno al bienestar animal aumenten y por lo tanto, el interés en sistemas de producción alternativos que cuentan con acceso a pastoreo están en crecimiento (Miao et al., 2005; Shields et al., 2017), con la finalidad de conseguir una mejor aceptación por parte del consumidor (Henchion et al., 2017).

El potencial que tienen las líneas genéticas para mantenerse y producir bajo sistemas alternativos está en constante evaluación. Los trabajos realizados en esta temática han concluido que las líneas genéticas como la ISA Brown presentan mejores rendimientos productivos que las razas puras en sistemas con acceso a pastoreo (Ianni et al., 2021), lo cual concuerda con lo informado al comparar gallinas Hy Line Brown (línea genética) contra Araucana (raza pura) (Sokolowicz et al., 2019), White Leghorn, Rhode Island Red y Araucana (razas puras) con sus cruces (Lukanov et al., 2015). Incluso las líneas genéticas han presentado porcentajes de producción superiores (98,65 %) (Campbell et al., 2017) a los informados por la casa genética (ISA Poultry, s.f.). Comportamiento similar se obtuvo al comparar los parámetros de calidad morfológica del huevo entre el cruce Tetra SL con los parámetros de las razas Banat Naked Neck y Svrlijig, donde estas últimas registraron menor peso de huevo y cáscara, menores unidades Haugh, pero una coloración de yema más intensa (Škrbić et al., 2020).

La productividad de los sistemas con acceso a pastoreo presentan menores rendimientos productivos (Karsten et al., 2010; Krawczyk & Gornowicz, 2010; Miao et al., 2005; Okedere et al., 2020; Samiullah et al., 2014; Sharma et al., 2022; Van Den Brand et al., 2010), debido a factores como una menor densidad de ponedoras por metro cuadrado (Human Farm Animal Care, 2018), mayor consumo de alimento (Campbell et al., 2021), uso de aves con genética

poco especializada (Ianni et al., 2021; Lukanov et al., 2015; Sokolowicz et al., 2019), subalimentación o problemas nutricionales como la impactación de forraje (Ruhnke et al., 2014) y mayor mortalidad (Campbell et al., 2021; Singh et al., 2017).

Los consumidores asocian el sistema con acceso a pastoreo a un ambiente más aceptable cuando se compara con el sistema convencional de jaula, ya que provee a los animales, condiciones que les permite expresar su etología (Pavlovski et al., 2011). En una encuesta realizada a 2813 estadounidenses, se encontró que los consumidores están dispuestos a pagar más por huevos que provengan de sistemas donde el bienestar animal sea considerado (Ochs et al., 2019). Esta tendencia también fue encontrada al comparar la adquisición de huevos orgánicos (Mørch Andersen, 2011) y de los sistemas libres de jaulas (Norwood & Lusk, 2011), con los provenientes de jaula convencional.

En Costa Rica, una encuesta realizada a 777 consumidores habituales de huevo, encontró que el 55,5 % desconoce en su totalidad las características de los sistemas bajo los cuales se produce huevo en el país, pero el 70,4 % señaló estar dispuesto a pagar más por el huevo que provenga de sistemas donde se respete el bienestar animal (Chavarría-Zamora et al., 2021). Además, la percepción de los consumidores sobre las propiedades del huevo según el sistema de alojamiento, presenta un mayor agrado hacia los huevos provenientes del sistema con acceso a pastoreo en comparación con los sistemas de producción con alojamiento de piso y jaula, lo cual se puede asociar a la interacción de la dieta, la genética y/o el manejo general de cada sistema (Chavarría-Zamora et al., 2021).

La calidad del huevo puede ser evaluada por parámetros morfológicos (externos e internos), composición nutricional y microbiológica (Holt et al., 2011). La calidad externa incluye el peso y forma del huevo, así como el color e integridad de la cáscara. A nivel interno se evalúa la fuerza de la membrana vitelina, el índice y color de yema, su viscosidad, unidades Haugh, altura del albumen, la viscosidad de este y su funcionalidad. Mientras que la calidad nutricional puede ser evaluada por la cantidad y composición de sólidos, proteína cruda, cenizas y contenido de grasa (Holt et al., 2011; Nasri et al., 2019). En cambio, la calidad microbiológica se asocia a la presencia o cantidad de microorganismos presentes en el huevo, que pueden ser causantes de enfermedades de transmisión alimentaria (Chavarría-Zamora et al., 2021).

Dentro de las variables que tienen influencia sobre la calidad y composición del huevo se encuentran: el sistema de alojamiento de las gallinas (Batkowska & Brodacki, 2017; Küçükyılmaz et al., 2012), la genética (Holt et al., 2011; Ianni et al., 2021), la edad del ave, el manejo nutricional de las mismas (Ferrante et al., 2009; Karsten et al., 2010; Réhault-Godbert et al., 2019; Samiullah et al., 2016), factores ambientales, el almacenamiento y métodos de cocción (Réhault-Godbert et al., 2019).

La edad de la ponedora tiene impacto sobre parámetros morfológicos como: el peso del huevo (Campbell et al., 2017; Freitas et al., 2017; Krawczyk & Gornowicz, 2010; Kocevski et al., 2011; Ulmer-Franco et al., 2010), las unidades Haugh, peso de yema (Tona et al., 2004; Ulmer-Franco et al., 2010), resistencia de la membrana vitelina, índice de yema (Curtis et al., 2005), color de yema (Campbell et al., 2017; Rodríguez Mengod, 2016), calidad de cáscara (grosor y resistencia) (Al-Batshan et al. 1994; Benavides-Reyes et al., 2021; Kocevski et al., 2011; Rayan et al., 2010) e índice morfológico, ya que el huevo tiende a alargarse por una pérdida en la tonicidad muscular de la cloaca del ave conforme envejece (Travel et al., 2010).

El peso del huevo aumenta conforme lo hace la edad de la gallina (Kocevski et al., 2011; Sharma et al., 2022; Ulmer-Franco et al., 2010), lo cual está relacionado con el aumento en el peso de la yema (Ulmer-Franco et al., 2010), esto debido a dos factores, primero, la síntesis de lipoproteínas con la edad se incrementa y, segundo, el aumento en los intervalos de ovulación, lo cual provoca que la misma cantidad de yema proveniente de la síntesis hepática se deposite en menos cantidad de folículos (Zakaria et al., 1983).

La calidad del albumen se ve influenciada por la edad del ave, ya que éste tiende a diluirse (hidrólisis proteica) (Freitas et al., 2017), donde a menor edad de la ponedora, mejor es la calidad del albumen y las unidades Haugh. Esto se debe a que conforme aumenta la edad de la gallina, también lo hace el pH del albumen (Nasri et al., 2019), lo cual impacta de forma negativa sobre la altura del albumen y por ende, disminuye las unidades Haugh (Tona

et al., 2004). Este aumento en el pH se debe a la disminución del grosor de la cáscara, lo que permite un mayor intercambio gaseoso de CO₂ (Meijerhof, 1994).

La calidad nutricional del huevo permite considerarlo, a nivel mundial, como un alimento nutritivo de alto valor biológico para los seres humanos, incluidas las personas menores de doce años y adultas mayores; además, el contenido de compuestos bioactivos presentes en este puede ser de alto interés en la prevención y tratamiento de enfermedades (Réhault-Godbert, et al., 2019). El huevo de gallina es una fuente importante de nutrientes como proteínas, vitaminas, minerales y lípidos, los cuales se ven influenciados por factores como la edad, la dieta, la genética del ave (Pintea et al., 2012) y el sistema de producción (Yenice et al., 2016).

Los consumidores se preocupan cada vez más por su salud y existe la percepción de que los huevos que se producen en sistemas con acceso a pastoreo son más saludables y presentan mejor sabor que los huevos obtenidos de aves alojadas en jaula (Bray & Ankeny, 2017).

Resultados de investigaciones realizadas en Estados Unidos señalan mejores contenidos de vitamina E y A en los huevos provenientes de gallinas Hy-Line con acceso a pastoreo de alfalfa (*Medicago sativa* L.) y una combinación de trébol rojo y blanco (*Trifolium pretense* L. y *Trifolium repens* L.), que aquellos provenientes de ponedoras alojadas en jaulas (Karsten et al., 2010). Mientras que en huevos comprados en tres supermercados en Inglaterra, se encontró un menor contenido de vitamina D en aquellos provenientes de gallinas alojadas en sistemas de jaula en comparación con los huevos de las aves de sistemas con acceso a pastoreo, lo cual se puede asociar al mayor acceso que tienen las aves en pastoreo a luz solar (Guo et al., 2017).

Este estudio tuvo como objetivo describir los rendimientos productivos, características morfológicas y calidad nutricional de los huevos de las gallinas ponedoras de la línea genética ISA Brown en un sistema de piso con acceso a pastoreo.

Materiales y métodos

Ubicación de la prueba

Esta investigación se llevó a cabo entre julio del 2018 y enero del 2020, en el cantón de Turrialba (9°54' 12,80"N y 83°41' 09,33"O), Cartago, Costa Rica, en el módulo aviar de la Sede Atlántico de la Universidad de Costa Rica, donde la temperatura promedio fue de 23,04 °C con una máxima de 29,56 °C y una mínima de 18,54 °C, con un promedio de precipitación de 182 mm mensuales y una humedad relativa cercana a los 90,56 % (Instituto Meteorológico Nacional, 2021).

Se manejaron dos lotes (L1 y L2) de gallinas (*Gallus gallus domesticus*) de la línea genética ISA Brown de doscientas aves cada uno, ambos con acceso a pastoreo, con la finalidad de describir los rendimientos productivos, parámetros morfológicos y calidad nutricional del huevo. Las aves ingresaron al sistema de producción con una edad de 15 semanas y se mantuvieron hasta las 120 semanas.

Características del sistema

Se trabajó en un área de 700 m² constituida por un galpón dividido en dos áreas de 136 m² cada una, bodega (8 m²) y las áreas de pastoreo (420 m²). El área de galpón presentó paredes de concreto hasta una altura de 60 cm y una malla ciclón galvanizada de 3,15 mm hasta pegar con el techo. En cada lote se manejó una densidad de 5 a 6 gallinas/m² y de 3 gallinas/m² para el galpón y el área de pastoreo, respectivamente. La dieta consistió en agua a libre consumo suministrada en bebederos automáticos tipo campana, con una relación de 47 aves por bebedero y alimento comercial con un contenido de 18 % de proteína cruda, 3 % de extracto etéreo, 5 % de fibra cruda, 3,5 a 4,5 % de calcio, 0,4 % de fósforo, 0,3 a 0,4 % de cloruro de sodio, 2850 kcal/kg de energía metabolizable y 2,5 mg/

kg de cataxantina (como colorante), distribuido en comederos manuales de tolva con una relación de 33 gallinas por comedero. Además, con la finalidad de mejorar la calidad de la cáscara y disminuir el estrés calórico, se suministró en un comedero de tolva durante todo el ciclo de producción (semana 18 a 120 de edad del ave), 3 kg de premezcla mineral por tonelada de alimento con una composición de 4 % de calcio, 60 mg/kg selenio, 16 000 mg/kg de zinc, manganeso y hierro (cada uno), 240 mg/kg cromo y 120 000 mg/kg vitamina C, aunado a esto se ofreció a libre consumo carbonato de calcio grueso, dispuesto en comederos exclusivos para tal fin.

Los requerimientos nutricionales de las gallinas se cubrieron en su totalidad por el alimento balanceado, el cual se calculó mediante el uso de las tablas específicas del estándar de la línea genética ISA Brown (ISA poultry, s.f.), donde se tomó en consideración el peso del animal y la edad en semanas. El consumo asociado al pastoreo se consideró como un aporte extra de nutrimentos dentro de la dieta.

El área de pastoreo contó con divisiones entre potreros de 70 m² cada uno, con una cobertura vegetal predominante de pasto estrella africana (*Cynodon nlenfluensis*) sin fertilizar, en los cuales se mantuvo un período de ocupación por las aves de 7 y 14 días de descanso. Posterior a cada pastoreo se realizó una homogenización de la altura del forraje con motoguadaña a 3 cm de altura. El acceso de las gallinas a estas áreas era diario e iniciaba a las 6 am y terminaba a las 2 pm, para un total de 8 h de pastoreo.

VARIABLES EVALUADAS

Por medio del análisis de registros se determinó el porcentaje de producción. El porcentaje de uniformidad se obtuvo por medio del pesaje al 10 % de las gallinas cada semana en cada lote, la mortalidad acumulada, promedio de alimento consumido por ave al día desde la semana 18 hasta la semana 110 de vida.

Para la evaluación de las variables morfológicas se tomó una muestra al azar de treinta unidades de huevo con un día de postura de cada lote de gallinas (L1 y L2), en las semanas 30, 50, 70, 90 y 110 de edad de las aves, estos fueron evaluados el mismo día de la puesta en el Laboratorio de Anatomía y Fisiología de la Escuela de Zootecnia, Universidad de Costa Rica.

Se determinaron catorce variables morfológicas a cada huevo con ayuda de un calibre (también conocido vernier o pie de rey) y una balanza con $\pm 0,1$. Se dividieron en variables externas como peso del huevo y la cáscara (g), ancho (eje ecuatorial) y largo (distancias entre polos) (mm), índice morfológico (mm), grosor de cáscara (mm) y color de cáscara mediante el eggshell color guide de Zinpro, e internas como altura y diámetro de yema (mm), peso de yema y albumen (g), índice de yema, color de yema mediante el abanico DSM YolkFan™, altura de albumen (mm) y unidades Haugh.

Las fórmulas utilizadas para la determinación del índice morfológico (IM) (ecuación 1) (Scholtyssek, 1970), índice de yema (IY) (ecuación 2) (Artan & Durmuş, 2015) y unidades Haugh (UH) (ecuación 3) (Silversides, 1994) se muestran a continuación:

$$IM = \frac{\text{ancho de huevo}}{\text{largo de huevo}} * 100 \quad (\text{ecuación 1})$$

$$IY = \text{altura de yema} * \text{diámetro de yema} \quad (\text{ecuación 2})$$

$$UH = 100 * \log (\text{altura de la clara densa (mm)} - 1,7\text{peso del huevo (g)}^{0,37} + 7,6) \quad (\text{ecuación 3})$$

Según los resultados de índice morfológico, el huevo se clasificó por su forma en puntiagudo (IM<71), normal u óptimo (IM entre 73 a 76) o redondo (IM>76) (Rodríguez Mengod, 2016),

Para caracterizar el contenido nutricional de los huevos se efectuaron cinco muestreos al azar de quince unidades de huevo a cada lote (L1 y L2) en las semanas 30, 50, 70, 90 y 110 de edad de la gallina, para determinar del porcentaje de humedad, materia seca, proteína cruda, extracto etéreo, cenizas, calcio y fósforo (Association of Official Analytical Chemist International, 1997).

Para el análisis del contenido de ácidos grasos saturados (AGS), ácidos grasos monoinsaturados (AGMI) y ácidos grasos poliinsaturados (AGPI), se utilizó la metodología descrita por Misir et al. (1985), se llevaron a cabo tres muestreos al azar de quince unidades de huevo en las semanas 30, 50 y 70 de edad de las aves. Ambos análisis se realizaron en el Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA) de la Universidad de Costa Rica.

Análisis estadístico

Por medio de estadística descriptiva se analizaron los rendimientos productivos de las gallinas y se usó como punto de referencia comparativo el estándar de la línea ISA Brown para sistemas alternativos (ISA poultry, s.f.). Para el análisis estadístico de los parámetros morfológicos y nutricionales de los huevos en función a la edad de las aves en semanas, se realizó el análisis de varianza, mediante la aplicación PROC GLM del paquete estadístico SAS (SAS Institute, 2012). En el momento que se determinó un efecto significativo, se procedió a realizar la comparación de medias, mediante la aplicación de la prueba de Duncan ($p < 0,05$).

Resultados

El porcentaje de producción durante un período de 92 semanas mostró un pico para el L1 de 98,7 % y L2 de 97,4 % en las semanas 26 y 31 de edad del ave, respectivamente (Figura 1), los cuales fueron superiores al esperado según el estándar de la línea (95 %). De igual manera, se determinó una mayor persistencia en ambos lotes (L1 y L2) a partir de la semana 60 (Figura 1).

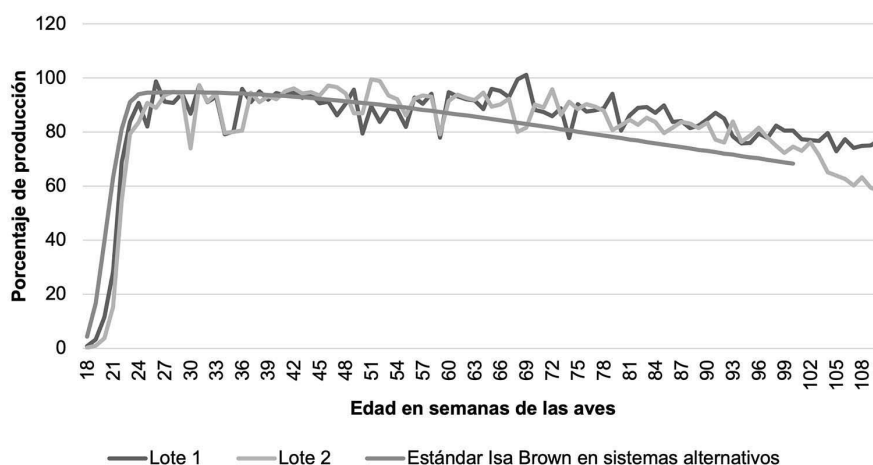


Figura 1. Curva de producción presentada por las gallinas ISA Brown (*Gallus gallus domesticus*) en el sistema de producción con acceso a pastoreo en el cantón de central de Turrialba, Cartago, Costa Rica, 2020.

Figure 1. Production curve presented by ISA Brown (*Gallus gallus domesticus*) layers in the production system with access to grazing in the central canton of Turrialba, Cartago, Costa Rica, 2020.

Hubo un aumento significativo ($p < 0,05$) del peso promedio del huevo conforme incrementó la edad de la gallina (Figura 2). El estándar de la línea describe un peso promedio del huevo de 63,1 g durante la semana 18 a la 100, mientras que, en este estudio se identificaron resultados similares, con un peso promedio de 63,84 g para L1 y de 63,02 g para L2.

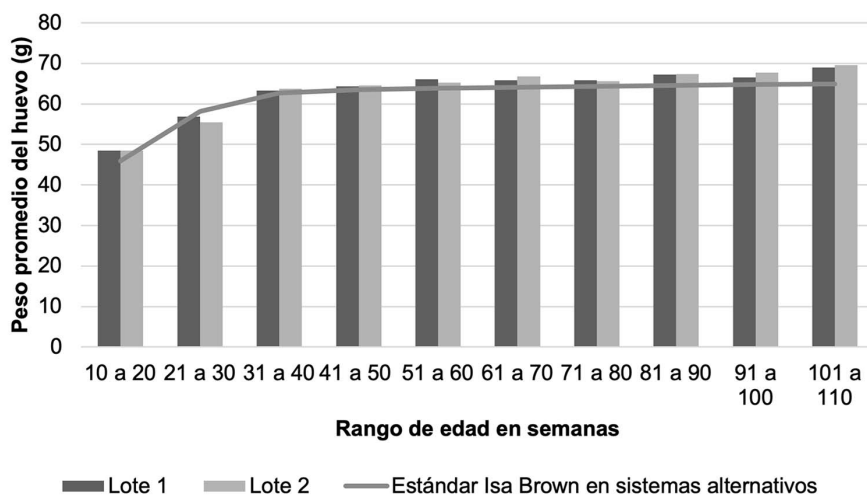


Figura 2. Peso promedio del huevo proveniente de las gallinas ISA Brown (*Gallus gallus domesticus*) en el sistema de producción con acceso a pastoreo en el cantón central de Turrialba, Cartago, Costa Rica, 2020.

Figure 2. Average egg weight from ISA Brown (*Gallus gallus domesticus*) layers in the production system with access to grazing in the central canton of Turrialba, Cartago, Costa Rica, 2020.

El peso corporal de las gallinas (expresado en rangos promedios de diez semanas) aumentó conforme se incrementó la edad en el ave; donde el L1 promedio 1992 g y 2056 g para el L2; valores similares a los 2000 g descritos por el estándar de la línea (Figura 3).

El porcentaje de uniformidad disminuyó en las semanas 71 a la 80 para el L2; sin embargo, después de la semana 81 se presentó una recuperación de este. Contrario al L2, el L1 mostró un pico en la uniformidad de la semana 71 a la 80, dicha situación no perduró y presentó una baja entre las semanas 91 a la 100, que mejoró para las últimas semanas.

Los datos de oferta de alimento recopilados durante la evaluación de las aves, permitió establecer el consumo promedio por ave por día en 130,58 g, con un rango de 86,67 g a 133,33 g. Valor promedio que superó en 10 g (120 g/ave/día) la recomendación de consumo promedio por aves en sistemas alternativos. Por último, la mortalidad acumulada de las aves fue en L1 de 16 % y para el L2 de 15,3 %.

En el análisis de las variables morfológicas externas e internas del huevo (Cuadro 1), se determinó que la conformación promedio porcentual del huevo correspondió a $13,03 \pm 0,30$, $25,96 \pm 1,50$ y $61,15 \pm 1,58$ % de cáscara, yema y albúmen, respectivamente. El análisis del índice morfológico del huevo presentó una disminución significativa ($p < 0,05$) durante la semana 92 del ciclo de producción, ya que pasó de huevos considerados como redondos en la semana 30, seguido por óptimos de la semana 50 a la 90, hasta alcanzar una forma alargada para la semana 110 de producción.

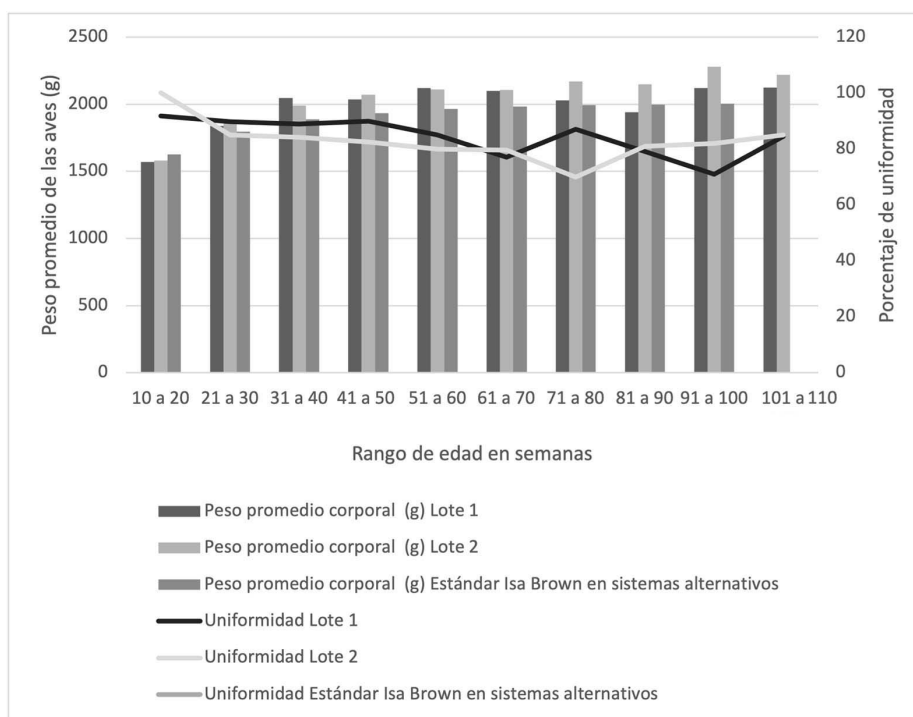


Figura 3. Peso promedio y porcentaje de uniformidad de las gallinas ISA Brown (*Gallus gallus domesticus*) en el sistema de producción con acceso a pastoreo en el cantón central de Turrialba, Cartago, Costa Rica. 2020.

Figure 3. Average weight and percentage of uniformity of ISA Brown (*Gallus gallus domesticus*) layers in the production system with access to grazing in the central canton of Turrialba, Cartago, Costa Rica. 2020.

Cuadro 1. Variables de calidad internas y externas del huevo obtenidas de gallinas ISA Brown (*Gallus gallus domesticus*) con acceso a pastoreo según la semana de producción, Turrialba, Cartago, Costa Rica. 2020.

Table 1. Internal and external quality variables of the egg obtained from ISA Brown hens (*Gallus gallus domesticus*) with access to grazing according to the week of production, Turrialba, Cartago, Costa Rica. 2020.

Variables de calidad	Unidades	Semanas					
		30	50	70	90	110	
Externas	Peso de huevo	g	62,08 ^c	63,58 ^c	65,91 ^b	66,92 ^b	69,07 ^a
	Ancho de huevo	mm	45,31 ^a	44,06 ^b	44,42 ^b	44,36 ^b	44,34 ^b
	Largo de huevo	mm	58,10 ^c	58,11 ^c	59,47 ^b	60,55 ^a	61,00 ^a
	Índice morfológico		77,97 ^a	75,88 ^b	74,75 ^c	73,35 ^d	72,74 ^d
	Color de cáscara		5,95 ^b	5,30 ^c	5,48 ^c	6,93 ^a	6,13 ^b
	Grosor de cáscara	mm	0,44 ^{ab}	0,45 ^a	0,44 ^{ab}	0,43 ^b	0,46 ^a
	Peso de cáscara	g	7,88 ^c	8,37 ^b	8,51 ^b	9,02 ^a	8,92 ^a
Internas	Color de yema		10,95 ^b	11,53 ^a	11,05 ^b	10,68 ^c	11,08 ^b
	Altura de yema	mm	17,11 ^c	18,47 ^a	17,58 ^b	17,26 ^{bc}	17,37 ^{bc}
	Diámetro de yema	mm	40,06 ^c	41,52 ^b	42,07 ^b	43,40 ^a	42,76 ^a
	Índice de yema		0,43 ^b	0,44 ^a	0,42 ^b	0,40 ^c	0,41 ^c
	Peso de yema	g	14,96 ^d	16,48 ^c	16,92 ^c	18,93 ^a	17,82 ^b
	Altura de albumen	mm	7,70 ^b	7,98 ^{ab}	8,38 ^a	5,92 ^d	6,49 ^c
	Peso de albumen	g	39,23 ^b	38,71 ^b	40,60 ^{ab}	39,35 ^b	42,33 ^a
Unidades Haugh		86,94 ^a	88,26 ^a	89,87 ^a	72,73 ^c	75,94 ^b	

En cuanto a la cáscara, tanto el color como el peso aumentaron significativamente ($p < 0,05$) hacia la semana 90, pero ambos factores sufrieron una disminución durante la última etapa del período de producción. El grosor de cáscara presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las semanas de producción, sin embargo, no se dio una tendencia clara hacia el incremento o disminución con el avance en la edad del ave.

Para el color y altura de yema se encontró que estos parámetros alcanzaron su pico en la semana 50, mientras que el diámetro de la yema aumentó conforme la edad de la gallina incrementó. El mejor índice de yema se obtuvo en la semana 50 de evaluación, mientras el peso de la yema tuvo una tendencia significativa hacia el aumento hasta la semana 90.

El peso y altura del albumen alcanzaron su máximo en la semana 70, con valores de 40,6 g y 8,38 mm, respectivamente. Esto se relaciona con el hecho de que las unidades Haugh (UH) mostraron un aumento no significativo ($p > 0,05$) de la semana 50 a la 70, que clasificó al huevo como muy bueno en cuanto a frescura, para luego en la semana 90 presentó una disminución en las UH que caracterizaron la frescura del huevo como aceptable.

El análisis nutricional realizado al conjunto de la yema y albumen proveniente de huevos de las gallinas ISA Brown en la edad de 30, 50, 70, 90 y 110 semanas (Cuadro 2), mostró una relación positiva entre la edad del ave y los contenidos de humedad, proteína cruda, extracto etéreo, cenizas, calcio y fósforo; mientras que el contenido de materia seca, la concentración de ácidos grasos saturados (AGS) y los monoinsaturados (AGMI), mostraron una reducción. En los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI), no se encontraron diferencias entre las edades de las gallinas evaluadas. La relación AGPI/AGS mostrada por los huevos fue de 0,55, 0,46 y 0,67 en las semanas 30, 50 y 70, respectivamente.

Cuadro 2. Composición nutricional del huevo (albumen + yema) obtenido de gallinas ISA Brown (*Gallus gallus domesticus*) con acceso a pastoreo según la semana de producción. Turrialba, Cartago, Costa Rica, 2020.

Table 2. Egg nutritional composition (albumen and yolk) obtained from ISA Brown hens (*Gallus gallus domesticus*) with access to grazing according to the week of production. Turrialba, Cartago, Costa Rica, 2020.

Composición nutricional	Semanas				
	30	50	70	90	110
Humedad	74,75 ^{cb}	74,05 ^c	75,00 ^{cb}	75,90 ^b	77,45 ^a
Materia seca	25,24 ^{ab}	25,94 ^a	24,97 ^{ab}	24,11 ^b	22,57 ^c
Proteína cruda	55,00 ^b	51,39 ^d	53,07 ^{cd}	54,36 ^{cb}	65,78 ^a
Extracto etéreo	34,87 ^{bc}	35,47 ^{bc}	36,87 ^{ba}	39,15 ^a	33,65 ^c
Cenizas	3,54 ^{bc}	3,49 ^c	3,64 ^{bc}	3,93 ^{ba}	4,24 ^a
Calcio	0,16 ^{bc}	0,26 ^a	0,24 ^{ba}	0,14 ^c	0,24 ^{ba}
Fósforo	0,74 ^{bc}	0,77 ^{ba}	0,74 ^c	0,78 ^a	0,78 ^a
AGS*	38,43 ^a	35,81 ^a	27,27 ^b	-	-
AGMI**	40,06 ^a	45,90 ^a	53,07 ^b	-	-
AGPI***	21,11	16,54	18,25	-	-
AGPI/AGS	0,54	0,46	0,67	-	-

*Ácidos grasos saturados, **Ácidos grasos monoinsaturados, ***Ácidos grasos poliinsaturados / *Saturated fatty acids, **Monounsaturated fatty acid, ***Polyunsaturated fatty acid.

Letras diferentes en una misma fila representan diferencias significativas a $p < 0,05$. / Different letters at the same row represent significant differences at $p < 0,05$.

Discusión

Las gallinas con acceso a pastoreo presentaron menores índices productivos cuando se les compara con las gallinas en sistemas de jaula (Karsten et al., 2010; Krawczyk & Gornowicz, 2010; Miao et al., 2005; Okedere et al., 2020; Samiullah et al., 2014; Sharma et al., 2022; Van Den Brand et al., 2010). Sin embargo, las tendencias de los consumidores exigen que las aves se manejen bajo sistemas alternativos, como el sistema con acceso a pastoreo (Henchion et al., 2017; Miao et al., 2005; Pavlovski et al., 2011; Shields et al., 2017).

Este estudio mostró un aumento en el peso de la gallina conforme aumentó la edad de esta. El peso corporal se ve influenciado por factores como el manejo de las aves durante la crianza, la nutrición según las etapas fisiológicas (Réhault-Godbert, et al., 2019) y la microbiota en el tracto gastrointestinal (Su et al., 2021). Las líneas genéticas (tanto línea pesada como ligera) muestran una menor anuencia al consumo de alimento, lo cual provoca menor peso corporal (Su et al., 2021). Las aves que inician la postura con un mayor peso corporal (1,73 kg) presentan un mayor consumo de alimento y producen huevo de mayor tamaño que las que inician la etapa productiva con un menor peso corporal (1,61 kg) (Pérez-Bonilla et al., 2012).

En relación con el consumo de alimento obtenido, los valores superaron a la cantidad descrita por el estándar de la línea, otros trabajos encontraron esta misma tendencia en los sistemas con acceso a pastoreo (Yilmaz Dikmen et al., 2016), lo que se atribuye al incremento en el gasto energético de las aves bajo este sistema, dado por su mayor libertad de movimiento (MacKenney Kirste & Monzón Díaz, 2014).

De acuerdo con lo encontrado en Nigeria, las gallinas ISA Brown en un sistema con acceso a pastoreo presentaron un menor consumo de alimento (109,67 g/ave/día) (Okedere et al., 2020) al encontrado en el presente estudio, diferencia que se podría asociar a la localidad, condiciones ambientales como altas temperaturas que disminuyen el consumo (Freitas et al., 2017), tipo de forraje, abundancia de insectos, densidad de nutrientes presentes en el alimento, peso y actividad de las aves.

En el caso de la conformación del huevo, se presentaron similitudes porcentuales entre el contenido obtenido en este trabajo y lo encontrado en otros estudios con aves ISA Brown, en los que se informó de 63,4 % de albumen (37,94 g), 24,5 % de yema (14,66 g) y 12,1 % de cáscara (7,24g) (Ianni et al., 2021).

Los rendimientos morfológicos analizados fueron significativamente mayores conforme al incremento en la edad de la gallina para los parámetros de peso de huevo, peso de yema, color y peso de cáscara, contrario a esto, las Unidades Haugh, la altura del albumen e índice morfológico disminuyeron de acuerdo con el aumento en la edad del ave.

El aumento en el peso de la cáscara del huevo pudo presentarse debido a la suplementación mineral suministrada con el fin de mejorar la calidad de este parámetro y disminuir el posible impacto por estrés calórico, sin embargo, el grosor de cáscara varió entre semanas de producción, pero no se mostró una tendencia clara hacia el aumento o disminución. Este parámetro, en conjunto con el índice morfológico, son de importancia para procesos propios de la industria como el empaque y la distribución, ya que influyen en la resistencia del huevo (Galic et al., 2019).

En contraste con lo encontrado en este estudio, otros autores han señalado que conforme aumenta la edad del ave disminuye significativamente el grosor (6 %) y el peso (10 %) de la cáscara, así como aumenta el tamaño de los cristales de calcio que la conforman, lo cual hace que los poros tengan un mayor tamaño, esto impacta sobre la fuerza de resistencia del huevo, la cual disminuye en 25 % en un período de 34 semanas (Benavides et al., 2021). Esta situación se debe al aumento en el peso del huevo, el cual tiene una correlación negativa significativa ($p < 0,05$) de -0,175 con la resistencia de la cáscara (Kocevski et al., 2011); también se relaciona con la disminución en la capacidad del intestino del ave para absorber calcio, por lo que la adecuada nutrición mineral es importante para contrarrestar la disminución en la capacidad de absorción del intestino de gallinas viejas, para lo cual es necesario suplir calcio grueso (2-5 mm), el cual va a estar disponible por mayor tiempo en el intestino y así, garantizar cantidades adecuadas de otros minerales como el Mn, Zn y Cu que forman parte del proceso de formación de la

cáscara (Nys, 2017). También se informó de diferencias en el peso y la fuerza de la cáscara de los huevos según la línea genética (Samiullah & Roberts, 2014), donde las aves ISA Brown presentaron valores superiores que los de las aves DeKalb White (Kocevski et al., 2011).

La relación negativa encontrada en este trabajo entre el índice de yema (disminuye) y el peso de la yema (aumenta) conforme la gallina envejece, fue informada en otras investigaciones en conjunto con la merma en la resistencia de la membrana vitelina (Curtis et al., 2005; Nowaczewski et al., 2010). Además, han informado en la literatura diferencias asociadas al sistema productivo, ya que los huevos provenientes de gallinas con acceso a pastoreo muestran un mayor peso de yema que los provenientes de jaula convencional (Galic et al., 2019; Yilmaz Dikmen et al., 2016).

Los porcentajes de nutrientes obtenidos en este estudio no distan de los promedios encontrados en muestras de huevo en Estados Unidos, en los cuales se informaron valores promedio para el huevo fresco de gallina de 75,4 % de agua, 50 % de proteína, 41,9 % de grasa, 3,66 % de carbohidratos y 4,5 % de cenizas (United States Department of Agriculture, 2019).

En cuanto a la composición de las grasas, la relación AGPI/AGS en esta investigación fue de entre 0,46 a 0,67. En sistemas con acceso a pastoreo de aves ISA Brown se obtuvieron porcentajes de 39,21, 44,99 y 15,80 % de AGS, AGMI y AGPI, respectivamente (Pintea et al., 2012), con una relación AGPI/AGS igual a 0,40. Mientras que con otras genéticas (Rhode Island Red y Sex Link) los valores obtenidos fueron de 32,19, 49,01 y 18,81 %, respectivamente, con una relación AGPI/AGS de 0,58 (Chavarría-Zamora et al., 2021). En todos los casos, se obtuvieron relaciones de AGPI/AGS por encima de 0,45, valor necesario para considerar a un alimento como saludable (Simopoulos, 2000), comportamiento mostrado en este estudio en las diferentes edades de las aves analizadas.

Los cambios que provocan el aumento en la edad de la gallina sobre la calidad del huevo, como el incremento del peso del huevo y la yema, la disminución del índice morfológico, cambios en el grosor y resistencia de la cáscara y la disminución de las unidades Haugh, deben ser considerados en el manejo del sistema y abordarse con las prácticas necesarias, como una nutrición adecuada según etapa fisiológica, suministro de calcio grueso y mejoras en los procesos de almacenamiento, empaque y trasiego del huevo, para que estos lleguen al consumidor con calidad.

Conclusiones

Los indicadores productivos (pico de producción, peso del huevo, persistencia de la postura y peso del ave) obtenidos de las gallinas de la línea genética ISA Brown en un sistema de producción con acceso a pastoreo, no presentaron diferencias con relación a los estándares de la línea genética para sistemas alternativos de producción.

El peso del huevo aumentó conforme la edad del ave avanzó. Mientras que la relación AGPI/AGS se mantuvo independiente de la edad de la gallina y puede ser considerado como saludable para los seres humanos. En cambio, las unidades Haugh, el índice de yema y morfológico del huevo disminuyeron al avanzar la edad de la ponedora.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo brindado a Oscar Garita y Roberto Ugalde funcionarios de la Sede del Atlántico de la Universidad de Costa Rica. Al Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA) de la Universidad de Costa Rica por el apoyo brindado en los análisis bromatológicos de las muestras de huevo en las diferentes edades de la gallina.

Referencias

- Al-Batshan, H. A., Scheideler, S. E., Black, B. L., Garlich, J. D., & Anderson, K. E. (1994). Duodenal calcium uptake, femur ash and eggshell quality decline with the age and increase following molt. *Poultry Science*, 73(10), 1590–1596. <https://doi.org/10.3382/ps.0731590>
- Artan, S., & Durmuş, I. (2015). Köy, serbest ve kafes sistemlerinde üretilen yumurtaların kalite özellikleri bakımından karşılaştırılması. *Akademik Ziraat Dergisi*, 4(2), 89–97. <https://dergipark.org.tr/pub/azd/issue/32194/358147>
- Association of Official Analytical Chemist. (1997). *Official methods of analysis of AOAC International* (16th ed., 3rd rev.). AOAC International.
- Batkowska, J., & Brodacki, A. (2017). Selected quality traits of eggs and the productivity of newlycreated laying hens dedicated to extensive system of rearing. *Archives Animal Breeding*, 60(2), 87–93. <https://doi.org/10.5194/aab-60-87-2017>
- Benavides-Reyes, C., Folegatti, E., Dominguez-Gasca, N., Litta, G., Sanchez-Rodriguez, E., Rodriguez-Navarro, A. B., & Umar Furuk, M. (2021). Research Note: Changes in eggshell quality and microstructure related to hen age during a production cycle. *Poultry Science*, 100(9), Article 101287. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101287>
- Bray, H. J., & Ankeny, R. A. (2017). Happy chickens lay tastier eggs: Motivations for buying free-range eggs in Australia. *Anthrozoos*, 30(2), 213–226. <https://doi.org/10.1080/08927936.2017.1310986>
- Cao, Y., & Li, D. (2013). Impact of increased demand for animal protein products in Asian countries: Implications on global food security. *Animal Frontiers*, 3(3), 48–55. <https://doi.org/10.2527/af.2013-0024>
- Campbell, D. L. M., Bari, M. S., & Rault, J. -L. (2021). Free-range egg production: its implications for hen welfare. *Animal Production Science*, 61(9–10), 848–855. <https://doi.org/10.1071/AN19576>
- Campbell, D. L. M., Lee, C., Hinch, G. N., & Roberts, J. R. (2017). Egg production and egg quality in free-range laying hens housed at different outdoor stocking densities. *Poultry Science*, 96(9), 3128–3137. <https://doi.org/10.3382/ps/pex107>
- Chavarría-Zamora, S., Chacón-Villalobos, A., & WingChing-Jones, R. (2021). Efecto del alojamiento de las gallinas (pastoreo, piso, jaula) sobre ácidos grasos, consumo y percepción sensorial de sus huevos. *Cuadernos de Investigación UNED*, 13(1), Artículo e3317. <https://doi.org/10.22458/urj.v13i1.3317>
- Curtis, P. A., Kerth, L. K., & Anderson, K. E. (2005, May 23-26). *Quality and compositional characteristics of layer hens as affected by bird age* [Presentation]. XI European Symposium on the Quality of Eggs and Egg Products, Doorwerth, The Netherlands.
- Ferrante, V., Lolli, S., Vezzoli, G., & Guidobono Cavalchini, L. (2009). Effects of two different rearing systems (organic and barn) on production performance, animal welfare traits and egg quality characteristics in laying hens. *Italian Journal of Animal Science*, 8(2), 165–174. <https://doi.org/10.4081/ijas.2009.165>
- Freitas, L. C. S. R., Tinôco, I. F. F., Baêta, F. C., Barbari, M., Conti, L., Teles Júnior, C. G. S, Cândido, M. G. L., Morais, C. V., & Sousa, F. C. (2017). Correlation between egg quality parameters, housing thermal conditions and age of laying hens. *Agronomy Research*, 15(3), 687–693. <https://bit.ly/3NuHdZL>
- Galic, A., Filipovic, D., Janjecic, Z., Bedekovic, D., Kovacev, I., Copec, K., & Pilestic, S. (2019). Physical and mechanical characteristics of Hisex Brown hen eggs from three different housing systems. *South African Journal of Animal Science*, 49(3), 468–476. <http://doi.org/10.4314/sajas.v49i3.7>

- Guo, J., Kliem, K. E., Lovegrove, J. A., & Givens, D. I. (2017). Effect of production system, supermarket and purchase date on the vitamin D content of eggs at retail. *Food Chemistry*, 221, 1021–1025. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.060>
- Henchion, M., Hayes, M., Mullen, A. M., Fenelon, M., & Tiwari, B. (2017). Future protein supply and demand: Strategies and factors influencing a sustainable equilibrium. *Foods*, 6(7), Article 53. <https://doi.org/10.3390/foods6070053>
- Holt, P. S., Davies, R. H., Dewulf, J., Gast, R. K., Huwe, J. K., Jones, D. R., Waltman, D., & Willian, K. R. (2011). The impact of different housing systems on egg safety and quality. *Poultry Science*, 90(1), 251–262. <https://doi.org/10.3382/ps.2010-00794>
- Human Farm Animal Care. (2018). *Normas HFAC para gallinas ponedoras de huevo*. <https://bit.ly/3Wz7kmm>
- Ianni, A., Bartolini, D., Bennato, F., & Martino, G. (2021). Egg quality from Nera Atriana, a local poultry breed of the Abruzzo Region (Italy), and ISA Brown hens reared under Free Range conditions. *Animals*, 11(2), Article 257. <https://doi.org/10.3390/ani11020257>
- Instituto Meteorológico Nacional. (2021). *Boletín meteorológico mensual: enero 2019 - diciembre 2019*. Retrieved from <https://www.imn.ac.cr/boletin-meteorologico>
- ISA poultry. (s.f.). *ISA-Brown en sistemas alternativos*. Recuperado diciembre, 2021 de <https://bit.ly/2xw1qwg>
- Karsten, H. D., Patterson, P. H., Stout, R., & Crews, G. (2010). Vitamins A, E and fatty acid composition of the eggs of caged hens and pastured hens. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 25(1), 45–54. <https://doi.org/10.1017/S1742170509990214>
- Kocevski, D., Nikolova, N., & Kuzelov, A. (2011). The influence of strain and age on some egg quality parameters of commercial laying hens. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 27(4), 1649–1658. <https://doi.org/10.2298/BAH1104649K>
- Krawczyk, J., & Gornowicz, E. (2010). Quality of eggs from hens kept in two different free-range systems in comparison with a barn system. *Archiv für Geflügelk*, 74(3), 151–157. <https://bit.ly/3XAkPni>
- Küçükyılmaz, K., Bozkurt, M., Nur Herken, E., Çınar, M., Uğur Çatlı, A., Bintaş, E., & Çöven, F. (2012). Effects of rearing systems on performance, egg characteristics and immune response in two layer hen genotype. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 25(4), 559–568. <https://doi.org/10.5713/ajas.2011.11382>
- Leenstra, F., Ten Napel, J., Visscher, J., & Van Sambeek, F. (2016). Layer breeding programmes in changing production environments: a historic perspective. *World's Poultry Science Journal*, 72(1), 21–26. <https://doi.org/10.1017/s0043933915002743>
- Lukanov, H., Genchev, A., & Pavlov, A. (2015). Egg quality and shell colour characteristics of crosses between Araucana and Schijndelaar with highly productive White Leghorn and Rhode Island Red strains. *Agricultural Science and Technology*, 7(3), 366–371. <https://bit.ly/3j5VBy1>
- MacKenney Kirste, L. P., & Monzón Díaz, O. R. (2014). *Evaluación de las líneas de gallinas ponedoras Hy-Line CV-22@ Y Dekalb White@ en un sistema de semipastoreo en Zamorano, Honduras* [Tesis licenciatura, Escuela Agrícola Panamericana]. Repositorio de la Escuela Agrícola Panamericana. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/3486/1/CPA-2014-051.pdf>
- Meijerhof, R. (1994). *Theoretical and empirical studies on temperature and moisture loss of hatching eggs during the pre-incubation period* [Doctoral thesis, Wageningen University]. Wageningen University & Research Library. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/27322>

- Meseret, S. (2016). A review of poultry welfare in conventional production system. *Livestock Research of Rural Development*, 28, Article 234. <http://www.lrrd.org/lrrd28/12/mese28234.html>
- Miao, Z. H., Glatz, P. C., & Ru, J. Y. (2005). Free-range Poultry Production – A Review. *Asian Australian Journal of Animal Science*, 18(1), 113–132. <https://doi.org/10.5713/ajas.2005.113>
- Misir, R., Laarveld, B., & Blair, R. (1985). Evaluation of a rapid method for preparation of fatty acid methyl esters for analysis by gas-liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*, 331, 141–148. [https://doi.org/10.1016/0021-9673\(85\)80015-7](https://doi.org/10.1016/0021-9673(85)80015-7)
- Mørch Andersen, L. M. (2011). Animal welfare and eggs—Cheap talk or money on the counter? *Journal of Agricultural Economics*, 63(3), 565–584. <https://doi.org/10.1111/j.1477-9552.2011.00310.x>
- Nasri, H., van den Brand, H., Najjar, T., & Bouzouaia, M. (2019). Egg storage and breeder age impact in egg quality and embryo development. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 104(1), 257–268. <https://doi.org/10.1111/jpn.13240>
- Norwood, F. B., & Lusk, J. L. (2011). A calibrated auction-conjoint valuation method: Valuing pork and eggs produced under differing animal welfare conditions. *Journal of Environmental Economics and Management*, 62(1), 80–94. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2011.04.001>
- Nowaczewski, S., Kontecka, H., Rosinski, A., Koberling, S., & Koronowski, P. (2010). Egg quality of Japanese quail depends on layer age and storage time. *Folia Biologica (Kraków)*, 58(3–4), 201–207. [http://www.isez.pan.krakow.pl/journals/fofia/pdf/58\(3-4\)/58\(3-4\)_11.pdf](http://www.isez.pan.krakow.pl/journals/fofia/pdf/58(3-4)/58(3-4)_11.pdf)
- Nys, Y. (2017). Laying hen nutrition: optimizing hen performance and health, bone and eggshell quality. In Y. Nys (Ed.), *Achieving sustainable production of eggs* (1st ed., pp. 29–56). Institut National de la Recherche Agronomique.
- Ochs, D., Wolf, C. A., Widmar, N. O., Bir, C., & Lai, J. (2019). Hen housing system information effects on U.S. egg demand. *Food Policy*, 87, Article 101743. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2019.101743>
- Okedere, D. A., Ademola, P., & Asiwaju, P. M. (2020). Performance and cost-benefit analysis of Isa Brown layers on different management systems. *Bulletin of the National Research Centre*, 44, Article 74. <https://doi.org/10.1186/s42269-020-00332-w>
- Pavlovski, Z., Škrbić, Z., & Lukić, M. (2011). Free systems of rearing of chickens and layer hens: quality of meat and eggs. *Tehnologija Mesa*, 52(1), 160–166. <https://bit.ly/3wCycbo>
- Pérez-Bonilla, A., Novoa, S., García, J., Mohiti-Asli, M., Frikha, M., & Mateos, G. G. (2012). Effects of energy concentration of the diet on productive performance and egg quality of brown egg-laying hens differing in initial body weight. *Poultry Science*, 91(12), 3156–3166. <http://doi.org/10.3382/ps.2012-02526>
- Pintea, A., Dulf, F., Bunea, A., Matea, C., & Andrei, S. (2012). Comparative analysis of lipophilic compounds in eggs organically raised ISA Brown and Araucana hens. *Chemical papers*, 66(10), 955–963. <https://doi.org/10.2478/s11696-012-0219-2>
- Rayan, G. N., Galal, A., Fathi, M. M., & El-Attar, A. H. (2010). Impact of layer breeder flock age and strain on mechanical and ultrastructural properties of eggshell in chicken. *International Journal of Poultry Science*, 9(2), 139–147. <https://doi.org/10.3923/ijps.2010.139.147>
- Réhault-Godbert, S., Guyot, N., & Nys, Y. (2019). The golden egg: nutritional value, bioactivities and emerging benefits for human health. *Nutrients*, 11(3), Article 684. <https://doi.org/10.3390/nu11030684>

- Rodríguez Mengod, A. (2016). *Tipificación de la calidad del huevo de gallina ecológico y convencional* [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia]. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica de Valencia. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/71437>
- Ruhnke, I., Cowling, G., Sommerlad, M., Swick, R., & Choct, M. (2014, September 11-13). *Gut impaction in free range hens* [Presentation]. Congress of the European Society of Veterinary and Comparative Nutrition, Utrecht, The Netherlands.
- Samiullah, S., & Roberts, J. R. (2014). The eggshell cuticle of the laying hen. *Worlds Poultry Science Journal*, 70(4), 693–708. <https://doi.org/10.1017/S0043933914000786>
- Samiullah, S., Roberts, J. R., & Chousalkar, K. (2014). Effect of production system and flock age on egg quality and total bacterial load in commercial laying hens. *The Journal of Applied Poultry Research*, 23(1), 59–70. <https://doi.org/10.3382/japr.2013-00805>
- Samiullah, S., Roberts, J. R., & Chousalkar, K. (2016). Oviposition time, flock age, and egg position in clutch in relation to brown eggshell color in laying hens. *Poultry Science*, 95(9), 2052–2057. <https://doi.org/10.3382/ps/pew197>
- SAS Institute (2012). *SAS/STAT® 9.1. user's guide*. SAS Institute Inc.
- Scholtysek, S. (Ed.) (1970). *Manual de avicultura moderna*. Editorial Acribia. https://www.editorialacribia.com/libro/manual-de-avicultura-moderna_53966/
- Sharma, M. K., McDaniel, C. D., Kiess, A. S., Loar, R. E., & Adhikari, P. (2022). Effect of housing environment and hen strain on egg production and egg quality as well as cloacal and eggshell microbiology in laying hens. *Poultry Science*, 101(2), Article 101595. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101595>
- Shields, S., Shapiro, P., & Rowan, A. (2017). A decade of progress toward ending the intensive confinement of farm animals in the United States. *Animals*, 7(12), Article 40. <https://doi.org/10.3390/ani7050040>
- Silversides, F. G. (1994). The haugh unit correction for egg weight is not adequate for comparing eggs from chickens of different lines and ages. *Poultry Science*, 3(2), 120–126. <https://doi.org/10.1093/japr/3.2.120>
- Simopoulos, A. P. (2000). Symposium: role of poultry products in enriching the human diet with n-3 PUFA. *Poultry Science*, 79(7), 961–970. <https://doi.org/10.1093/ps/79.7.961>
- Singh, M., Ruhnke, I., de Koning, C., Drake, K., Skerman, A. G., Hinch, G. N., & Glatz, P. C. (2017). Demographics and practices of semi-intensive free-range farming systems in Australia with an outdoor stocking density of <1500 hens/hectare. *PLOS ONE*, 12(10), Article e0187057. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187057>
- Škrbić, Z., Lukić, M., Petričević, V., Bogosavljević-Bošković, S., Rakonjac, S., Dosković, V., & Tolimir, N. (2020). Quality of eggs from pasture rearing layers of different genotypes. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 27(3), 659–667. <https://doi.org/10.2298/BAH2002181S>
- Škrbić, Z., Pavlovski, Z., Lukić, M., Vitorović, D., Petričević, V., & Stojanović, L. J. (2011). Changes of egg quality properties with the age of layer hens in traditional and conventional production. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 27(3), 659–667. <https://doi.org/10.2298/BAH1103659S>
- Sokołowicz, Z., Dykiel, M., Krawczyk, J., & Augustyńska-Prejsnar, A. (2019). Effect of layer genotype on physical characteristics and nutritive value of organic eggs. *CyTA- Journal of Food*, 17(1), 11–19. <https://doi.org/10.1080/19476337.2018.1541480>

- Su, Y., Ge, Y., Xu, Z., Zhang, D., & Li, D. (2021). The digestive and reproductive tract microbiotas and their association with body weight in laying hens. *Poultry Science*, 100(11), Article 101422. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101422>
- Tona, K., Onagbesan, O., De Ketelaere, B., Decuyper, E., & Bruggeman, V. (2004). Effects of age of broiler breeders and egg storage on egg quality, hatchability, chick quality, chick weight, and chick post hatch growth to forty-two days. *The Journal of Applied Poultry Research*, 13(1), 10–18. <https://doi.org/10.1093/japr/13.1.10>
- Travel, A., Nys, Y., & Lopes, E. (2010). Facteurs physiologiques et environnementaux influençant la production et la qualité de l'oeuf. *INRAE Productions Animales*, 23(2), 155–166. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2010.23.2.3297>
- Ulmer-Franco, A. M., Fasenko, G. M., & O'Dea Christopher, E. E. (2010). Hatching egg characteristics, chick quality, and broiler performance at 2 breeder flock ages and from 3 egg weights. *Poultry Science*, 89(12), 2735–2742. <https://doi.org/10.3382/ps.2009-00403>
- United States Department of Agriculture. (2019, January 4). *FoodData Central Search Results. Egg, whole, raw, frozen, pasteurized*. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/323604/nutrients>
- Van Den Brand, H., Parmentier, H., & Kemp, B. (2010). Effects of housing system (outdoor vs cages) and age of laying hens on egg characteristics. *British Poultry Science*, 45(6), 745–752. <https://doi.org/10.1080/00071660400014283>
- Yenice, G., Kaynar, O., Ileriturk, M., Hira, F., & Hayirli, A. (2016). Quality of eggs in different production systems. *Czech Journal of Food Science*, 31(4), 370–376. <https://doi.org/10.17221/33/2016-CJFS>
- Yilmaz Dikmen, B., İpek, A., Şahan, Ü., Petek, M., & Sözcü, A. (2016). Egg production and welfare of laying hens kept in different housing systems (conventional, enriched cage, and free range). *Poultry Science*, 95(7), 1564–1572. <https://doi.org/10.3382/ps/pew082>
- Zakaria, A. H., Miyaki, T., & Imai, K. (1983). The effect of aging on ovarian follicle growth in laying hens. *Poultry Science*, 62(4), 670–674. <https://doi.org/10.3382/ps.0620670>