

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria
Ingeniería Agronómica



Proyecto Especial de Graduación

**Efecto dietético de la *Bixa orellana* en los cambios diarios de la calidad del
huevo conservado bajo dos condiciones de temperatura**

Estudiantes

Freddy Alvarez Vasquez

José Fernando Menjívar Chavarría

Asesores

Yordan Martínez, D.Sc.

Patricio E. Paz, Ph.D.

Honduras, junio 2021

Autoridades

TANYA MÜLLER GARCÍA

Rectora

ANA MARGARITA MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

ROGEL CASTILLO

Director Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros	5
Índice de Figuras	6
Índice de Anexos	7
Resumen	8
Introducción.....	10
Materiales y Métodos	12
Ubicación del Estudio.....	12
Unidad Experimental	12
Condiciones Experimentales	12
Calidad Externa del Huevo	13
Calidad Interna del Huevo	14
Temperatura	14
Análisis estadísticos	14
Resultados y Discusión.....	15
Conclusiones.....	33
Recomendaciones.....	34
Referencias	35
Anexos	41

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Ingredientes y aportes nutricionales de gallinas ponedoras Hy-Line Brown®.	13
Cuadro 2 Efecto del tiempo en la conservación de la calidad externa e interna del huevo de gallinas ponedoras Hy-Line Brown® almacenado a temperatura ambiente sin achiote (25.9 ± 1.2 °C).	15
Cuadro 3 Correlación entre los indicadores de calidad externa e interna de los huevos sin achiote a temperatura ambiente (25.9 ± 1.2 °C).	17
Cuadro 4 Efecto del tiempo en la conservación de la calidad externa e interna del huevo de gallinas ponedoras Hy-Line Brown® almacenado a temperatura ambiente con achiote (25.9 ± 1.2 °C).	19
Cuadro 5 Correlación de Pearson para los indicadores de la calidad externa e interna del huevo de la dieta con achiote a temperatura ambiente (25.9 ± 1.2 °C).	21
Cuadro 6 Efecto del tiempo en la conservación de la calidad externa e interna del huevo de gallinas ponedoras Hy-Line Brown® almacenado a temperatura controlada sin achiote (8.5 ± 0.5 °C).	23
Cuadro 7 Correlación de Pearson para los indicadores de la calidad externa e interna del huevo de la dieta sin achiote a temperatura controlada (8.5 ± 0.5 °C).	24
Cuadro 8 Efecto del tiempo en la conservación de la calidad externa e interna del huevo de gallinas ponedoras Hy-Line Brown® almacenado a temperatura controlada con achiote (8.5 ± 0.5 °C).	26
Cuadro 9 Correlación de Pearson para los indicadores de la calidad externa e interna del huevo de la dieta con achiote a temperatura controlada (8.5 ± 0.5 °C).	28
Cuadro 10 Interacción entre los factores de días de conservación, temperatura de conservación y el empleo de achiote.	30

Índice de Figuras

Figura 1 Regresión lineal de la altura de albumen (AA) y la unidad Haugh (UH) del huevo de gallinas ponedoras Hy-Line Brown® sin achiote a temperatura ambiente (25.9 ± 1.2 °C).	18
Figura 2 Regresión lineal de la altura de albumen (AA) y la unidad Haugh (UH) del huevo de gallinas ponedoras Hy-Line Brown® con achiote a temperatura ambiente (25.9 ± 1.2 °C).	22
Figura 3 Regresión lineal de la altura de albumen (AA) y la unidad Haugh (UH) del huevo de gallinas ponedoras Hy-Line Brown® sin achiote a temperatura controlada (8.5 ± 0.5 °C).	25
Figura 4 Regresión lineal de la altura de albumen (AA) y la unidad Haugh (UH) del huevo de gallinas ponedoras Hy-Line Brown® con achiote a temperatura controlada (8.5 ± 0.5 °C).	29

Índice de Anexos

Anexo A Recolección de huevos de gallinas Hy-Line Brown® en el Centro de Investigación y Enseñanza Avícola de Zamorano.	41
Anexo B Organización de los huevos por tratamiento.	42
Anexo C Medición del peso del huevo con balanza digital OHAUS® (New Jersey, USA) con precisión de ± 0.1 g.	43
Anexo D Medición de la resistencia a la fractura del huevo	44
Anexo E Panel de resultados de la resistencia de la fractura del huevo	45
Anexo F La resistencia a la ruptura en el polo medio mediante fuerza de embalaje QC	46
Anexo G Indicador de altura del albumen QHC® con precisión de ± 0.01 mm	47
Anexo H Panel de resultados de la altura del albumen.....	48
Anexo I Medición de coloración de la yema con colorímetro electrónico CCC®	49
Anexo J Colorímetro electrónico CCC®	50
Anexo K Micrómetro con precisión de ± 0.001 mm	51

Resumen

Un total de 600 huevos se recolectaron al mismo tiempo de gallinas ponedoras Hy-Line Brown® de 65 semanas de edad. Se distribuyeron 150 huevos sin achiote y 150 huevos con achiote almacenado a temperatura ambiente (25.9 ± 1.2 °C), así como 150 huevos sin achiote y 150 huevos con achiote conservados a temperatura controlada (8.5 ± 0.5 °C). Se evaluó la calidad externa e interna de los huevos mediante un equipo automático. Los huevos conservados a temperatura ambiente disminuyeron progresivamente la unidad Haugh (UH), sin embargo, el empleo del achiote mostró un valor de 83.33 comparado a los huevos sin achiote con 78.08. El uso de achiote también incrementó la pigmentación de la yema (4.47) ($P \leq 0.05$). Los huevos refrigerados con y sin achiote mostraron una disminución menos pronunciada de la altura del albumen (AA) y unidad Haugh (UH; $P \leq 0.05$). Asimismo, se encontró grado de asociación estadística entre la AA y UH y resistencia a la ruptura de la cáscara y grosor de la cáscara. Además, se identificó alto grado de dependencia para AA y UH para los huevos almacenados a temperatura ambiente y controlado y con y sin achiote. Se encontró interacción entre los efectos de temperatura, tiempo y achiote con diferencias altamente significativas ($P < 0.001$) para AA, UH y color de yema. El uso del achiote en las dietas de gallinas mantiene la frescura del huevo conservado a temperatura ambiente, con una disminución menos progresiva de la AA y UH, además, los modelos matemáticos obtenidos permiten estimar la UH según los factores independientes.

Palabras clave: Achiote, calidad, huevo, temperatura ambiente, temperatura controlada, tiempo.

Abstract

A total of 600 eggs were collected at the same time from 65-week-old Hy-Line Brown® laying hens. 150 eggs without annatto and 150 eggs with annatto stored at room temperature (25.9 ± 1.2 °C) were distributed, as well as 150 eggs without annatto and 150 eggs with annatto preserved at controlled temperature (8.5 ± 0.5 °C). The external and internal quality of the eggs was evaluated using automatic equipment. Eggs kept at room temperature progressively decreased the Haugh Units (HU); however, the use of annatto showed a value of 83.33 compared to eggs without annatto with 78.08. Also, the use of annatto increased the pigmentation of the yolk (4.47) ($P \leq 0.05$). Eggs stored in refrigeration with and without annatto showed a less pronounced decrease in albumen height (AH) and HU ($P \leq 0.05$). Likewise, a degree of statistical association was found between AH and HU and resistance to shell breakage and shell thickness. In addition, a high degree of dependence for AH and HU was identified for eggs stored at room temperature and controlled and with and without annatto. Interaction was found between the effects of temperature, time and annatto with highly significant differences (<0.001) for AH, HU and yolk color. The use of annatto in chicken diets maintains the freshness of the egg preserved at room temperature, with a less progressive decrease in AA and UH, in addition, the mathematical models obtained allow estimating the HU according to the independent factors.

Keywords: Annatto, egg, quality, refrigerated temperature, room temperature, time.

Introducción

En la actualidad, la industria alimentaria tiene un rápido crecimiento, lo que está en consonancia con el aumento de la población mundial; y la industria avícola no es la excepción. El huevo en comparación con otros alimentos tiene un gran aporte de micronutrientes, especialmente vitaminas liposolubles (K, D y A) e hidrosolubles (B₂, B₁₂ y folato), minerales como el selenio y fósforo. Asimismo, el aporte de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) por gramo de proteína es mucho más favorable que en las carnes y sólo sería superado por los pescados (Suarez-Diéguez et al. 2013). Comparado con otro tipo de alimentos de origen animal, esta llega a ser una fuente más barata de proteína y de fácil adquisición.

Los avicultores se ven enfrentados a una serie de variaciones en la demanda del huevo a lo largo de todo el año, y lo que repercute en la fluctuación de los precios del huevo. Estas variaciones dependerán de la estación o la situación económica nacional. Los productores deben buscar una manera de movilizar el inventario y evitar que este se almacene. El huevo al ser un producto fresco cuenta con una fecha de caducidad muy corta y pierde su calidad desde el momento que es depositado. La pérdida de la calidad del huevo dependerá de diferentes factores como: la temperatura, humedad, o daño mecánico. A medida que el huevo pierde frescura, pierde también agua en forma de vapor a través de los poros de la cáscara y la cámara de aire se expande (Instituto de Estudios del Huevo 2009). Esto da como resultado una entrada para que los microorganismos se multipliquen y aceleren el proceso de descomposición.

El achiote o annato (*Bixa orellana*) es una planta arbustiva distribuida en la región tropical del continente americano. Especie que ha sido muy popular entre la cocina latina por tener un colorante de color rojo intenso de origen natural en su fruto. Esta planta contiene un gran aporte de proteínas y betacarotenos. La bixina o bixina E-160b es el principal betacaroteno que funciona como un antioxidante y agente antimicrobiano (Sepúlveda Rincón et al. 2016). Los antioxidantes ayudan a atrapar los radicales libres que ocurren durante la peroxidación lipídica del huevo. Este efecto

conserva por más tiempo la clara, la cual regula la humedad; la deshidratación del huevo a través de los poros disminuye el volumen de la clara y la yema se expone al oxígeno, lo que promueve la proliferación de microorganismos que aceleran la descomposición del huevo (Rojas et al. 2015). A parte de los antioxidantes del achiote, también su uso incrementa la intensidad del color en la yema (Martínez y Orozco et al. 2021), lo que convierte el huevo en un producto alimenticio más atractivo a los consumidores en muchos mercados. El objetivo de este experimento fue evaluar el efecto dietético de la *Bixa orellana* en los cambios diarios de la calidad externa e interna del huevo conservado a temperatura ambiental y controlada.

Materiales y Métodos

Ubicación del Estudio

El estudio se realizó en el Centro de Enseñanza e Investigación Avícola de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, esta se encuentra ubicada en el km 32 carretera a Danlí, Tegucigalpa, Honduras, con una temperatura promedio de 26 °C y una altitud de 800 msnm con precipitaciones promedio de 1100 mm al año.

Unidad Experimental

Un total de 600 huevos se recolectaron al azar al mismo tiempo de gallinas ponedoras Hy-Line Brown® de 65 semanas de edad en pleno de postura criadas en jaula en batería. Se distribuyeron al azar en:

T1: 150 huevos a temperatura ambiente (25.9 ± 1.2 °C)

T2: 150 huevos con achiote (1.5%) a temperatura ambiente (25.9 ± 1.2 °C)

T3: 150 huevos a temperatura controlada (8.5 ± 0.5 °C)

T4: 150 huevos con achiote (1.5%) a temperatura controlada (8.5 ± 0.5 °C)

Además, diariamente se analizaron 60 huevos para determinar la calidad externa e interna del huevo durante 10 días.

Condiciones Experimentales

Las gallinas ponedoras estuvieron en jaula de 61 × 36 cm, donde se ubicaron 5 gallinas/jaula. El agua se ofreció *ad-libitum* y el consumo de alimento se restringió a 120 g/ave. Se suministraron 16 horas de luz cada día y no se empleó atención veterinaria terapéutica durante la etapa experimental. Durante los 10 días se tomó la temperatura en los dos tipos de ambientes. Los ingredientes y los aportes nutricionales de las gallinas ponedoras se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1

Ingredientes y aportes nutricionales de gallinas ponedoras Hy-Line Brown®.

Ingredientes	Dieta convencional
Harina de maíz	55.49
Harina de soya	27.96
Harina de palmiste	0.12
Cloruro de colina	4.02
Aceite de palma	0.2
Premezcla Vit+Min ¹	0.35
Sal común	1.72
Biofos [®]	4.9
Carbonato de calcio fino	4.9
Carbonato de calcio grueso	0.25
Mycofix plus 5.0	0.06
Enzimas	0.03
DL-metionina	-
L-lisina	2860
L-treonina	17.25
<i>Análisis Calculado</i>	0.45
EM, kcal/kg	4
PC, %	1
P disponible, %	0.8
Ca, %	0.69
Lisina, %	0.21
Met+Cys, %	55.49
Treonina, %	27.96
Triptófano, %	0.12

Nota. ¹Premezcla vitamina y mineral: vitamina A, 1000 UI/kg; Vitamina D₃, 2000 UI/kg; Vitamina E, 30 UI/kg; Vitamina K₃, 2.0 mg; Vitamina B₁, 1.0 mg; Vitamina B₂, 6.0 mg; Vitamina B₆, 3.5 mg; Vitamina B₁₂, 18 mg; Niacina, 60 mg; Ácido Pantoténico, 10 mg; Biotina, .10 mg; Ácido Fólico, 0.75 mg; Colina, 250 mg; Hierro, 50 mg; Cobre, 10 mg; Zinc, 70 mg; Manganeseo, 70 mg; Selenio, 0.30 mg; Yodo, 1.0 mg.2Biofos[®]: Fosfatos Di-cálcico.

Calidad Externa del Huevo

Para determinar la calidad del huevo se utilizó un analizador automático TSS EggQuality (York, England) y el software Eggware v4x). El peso del huevo se determinó en una balanza digital OHAUS[®] (New Jersey, USA) con precisión de ± 0.1 g. La resistencia a la ruptura se analizó en el polo medio mediante un analizador de cáscara y fuerza de embalaje QC. Para el de grosor la cáscara del huevo (polo medio) se utilizó un micrómetro con precisión de ± 0.001 mm.

Calidad Interna del Huevo

Para la calidad interna del huevo, se midió la altura del albumen mediante un indicador de altura QHC® con precisión de ± 0.01 mm. La unidad Haugh se calculó mediante un microprocesador QCM+, teniendo en cuenta el peso del huevo y la altura del albumen. El color de la yema se evaluó mediante un colorímetro electrónico CCC®, que tiene en cuenta la escala de Roche de 15 colores.

Temperatura

Para la temperatura se utilizó dos termómetros marca TAYLOR modelo TAP-5153, con rango de medición: -50 °C a 50 °C. Se colocaron cada uno en los dos tipos de ambientes.

Análisis estadísticos

Los datos se procesaron por clasificación simple ANOVA en un diseño factorial completo (10x2x2). Antes de esto, la normalidad de los datos se verificó por la prueba de Kolmogorov-Smirnov y para la uniformidad de varianza, la prueba de Bartlett. En los casos necesarios, se utilizó la prueba de Duncan para determinar las diferencias entre medias. También se realizó una correlación de Pearson con todos los indicadores y una regresión lineal entre la altura del albumen y unidad Haugh. Además, se hizo una interacción entre los días de conservación, temperatura de conservación y uso dietético de *Bixa orellana*. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software estadístico, SPSS versión 23.1.

Resultados y Discusión

En el Cuadro 2 se observa los resultados de los indicadores de calidad externa e interna de los huevos sin achiote almacenados durante 10 días a temperatura ambiente (25.9 ± 1.2 °C). Todos los indicadores analizados, peso huevo (PH; 0.02), altura albumen (AA; <0.001), unidad Haugh (UH; <0.001), resistencia a la ruptura (RR; 0.026), color de yema (CY; 0.014) y grosor de la cáscara (GC; 0.026), difirieron con el tiempo ($P \leq 0.05$). Los huevos analizados a esta temperatura mostraron una disminución en la altura del albumen y la unidad Haugh. En cambio, el peso del huevo y el color de la yema mostró variaciones en los días experimentales.

Cuadro 2

Efecto del tiempo en la conservación de la calidad externa e interna del huevo de gallinas ponedoras Hy-Line Brown® almacenado a temperatura ambiente sin achiote (25.9 ± 1.2 °C).

Días	Indicadores de calidad externa e interna					
	PH (g)	AA (mm)	UH	RR (kg F/cm ²)	CY	GC (mm)
1	61.48 ^{abc}	8.75 ^a	92.02 ^a	4326.27 ^{ab}	3.40 ^b	0.36 ^b
2	65.56 ^a	8.50 ^a	90.12 ^a	4624.93 ^{ab}	3.60 ^{ab}	0.36 ^{ab}
3	63.70 ^{abc}	8.03 ^{ab}	88.36 ^{ab}	4589.67 ^{ab}	3.53 ^{ab}	0.35 ^b
4	59.66 ^c	7.46 ^{bc}	86.33 ^{abc}	4669.40 ^{ab}	3.53 ^{ab}	0.37 ^{ab}
5	65.56 ^a	7.24 ^{bcd}	82.67 ^{bcd}	4222.53 ^b	3.40 ^b	0.34 ^b
6	61.90 ^{abc}	7.12 ^{cd}	83.36 ^{bcd}	4995.67 ^a	3.47 ^b	0.40 ^a
7	60.46 ^{bc}	6.86 ^{cd}	81.42 ^{cd}	4314.47 ^{ab}	3.33 ^b	0.34 ^b
8	62.50 ^{abc}	6.44 ^d	78.42 ^d	4353.00 ^{ab}	3.47 ^b	0.36 ^b
9	62.31 ^{abc}	6.32 ^d	77.74 ^d	4736.13 ^{ab}	4.00 ^a	0.36 ^{ab}
10	64.01 ^{ab}	6.52 ^d	78.08 ^d	4504.73 ^{ab}	4.00 ^a	0.36 ^b
EE±	0.4322	0.1130	0.7288	67.187	0.050	0.003
Valor de P	0.020	<0.001	<0.001	0.026	0.014	0.042

Nota. ^{a, b, c, d} Superíndices diferentes en la misma columna difieren a $P < 0.05$. PH: peso del huevo; AA: Altura del albumen; UH: Unidad Haugh; RR: Resistencia a la ruptura de la cáscara; CY: Color de la yema; GC: Grosor de la cáscara.

Es conocido, que el peso del huevo depende de la edad y la línea genética del ave (Zita et al. 2009; Tůmová y Gous 2012). La unidad Haugh (UH) es una medida que determina la frescura de los huevos, para obtener este valor se considera el peso del huevo y la altura del albumen con una fórmula matemática (Trindade et al. 2007). En este análisis se observó una disminución en la altura del albumen en los 10 días experimentales. El primer día, la UH presentó una media de 92.02 y el día 10 tuvo 78.08. Autores como Akyurek y Okur (2009) y Martínez y Soliz et al. (2021) presentaron resultados de UH similares a este experimento con una media de 101.63 hasta 79.17. De la misma manera, la altura del albumen también tuvo una disminución en sus valores. Los factores que afectan a estas variables son la edad, línea genética y el tiempo de almacenamiento después de la postura de los huevos (Jones y Musgrove 2005). Mientras el tiempo de almacenamiento a temperatura ambiente sea mayor, la calidad de la altura del albumen se reduce. También, la transpiración y la pérdida de agua por los poros de la cáscara, genera un aumento de tamaño de la cámara de aire del huevo (Akyurek y Okur 2009; Oliveira et al. 2009; Zita et al. 2009).

Con respecto a la calidad del albumen, esta tuvo una degradación progresiva de 8.75 a 6.52, esto se debe a que la membrana vitelina pierde la fuerza entre sus proteínas y disminuye su densidad hasta quedar casi líquido, lo que genera una disminución en la altura del albumen en comparación con un huevo recién recolectado después de la ovoposición (Keener et al. 2006; Oliveira et al. 2020). El color de la yema no presentó ninguna disminución en su color, tuvo como máximo un valor de 4 y una mínima de 3.33 en la escala de Roche. Sin embargo, debido a la oxidación del huevo, la yema debe de perder color y la turgencia del albumen lo largo del tiempo como es mencionado en el estudio de Liu et al. (2017). El grosor de la cáscara dependerá de la dieta a la cual este expuesta el ave y dependerán de los niveles de calcio que tenga la dieta, a mayor de porcentaje de calcio habrá un mayor grosor y viceversa como se demostró en los estudios de An et al. (2016) y Castillo et al. (2004). La resistencia a la ruptura y el grosor de la cascara están relacionados debido a que un mayor grosor se requerirá una mayor fuerza al momento de romper la cáscara (An et al. 2016).

En el Cuadro 3 se encontró una correlación de Pearson entre los indicadores de UH y altura del albumen. Así como, grado de asociación entre las variables de resistencia de ruptura y el grosor de la cáscara, también una correlación negativa entre resistencia de ruptura y color de yema.

Cuadro 3

Correlación entre los indicadores de calidad externa e interna de los huevos sin achiote a temperatura ambiente (25.9 ± 1.2 °C).

	AA (mm)	UH	RR(kg F/cm ²)	CY	GC (mm)
PH (g)	0.029	-0.160	-0.014	-0.005	-0.088
AA (mm)		0.963**	-0.013	-0.062	0.001
UH			-0.004	-0.060	0.038
RR (kg F/cm ²)				-0.202*	0.475**
CY					-0.083

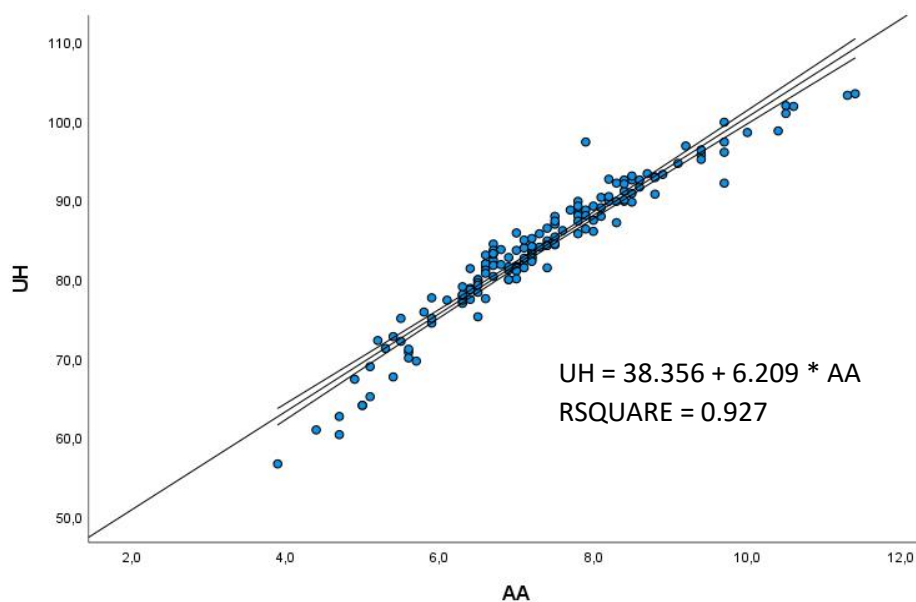
Nota. ** La correlación es significativa $P < 0.01$; * La correlación es significativa a $P < 0.05$. PH: Peso del huevo; AA: Altura del albumen; UH: Unidad Haugh; RR: Resistencia a la ruptura de la cáscara; CY: Color de la yema; GC: Grosor de la cáscara

Se observó una correlación entre altura del albumen y UH, es conocido que ambos indicadores están relacionados, porque para determinar la UH, la fórmula matemática incluye la altura del albumen y el peso del huevo. Así, un incremento de la altura del albumen influye directamente en la UH (Trindade et al. 2007). El grosor de la cáscara y la resistencia de la ruptura presentaron correlación estadística, esto demostró que mientras el grosor de cáscara es necesario una mayor fuerza para romper la cáscara. El grosor de la cáscara dependerá de la dieta suministrada, dietas ricas en carbonato de calcio afectan de manera positiva calcificación (calcita) de la cáscara (Abo El-Maaty et al. 2021). Se observó también una correlación negativa significativa entre el color de yema y la resistencia a la ruptura, lo que indica que estas variables son inversamente proporcionales.

En la Figura 1 se observa los resultados de una regresión lineal entre la UH y la altura del albumen en el huevo de gallinas ponedoras Hy-Line de la dieta sin achiote a temperatura ambiente. Este estudio determinó el grado de dependencia entre las variables, con un R^2 de 0.927, lo que demuestra que la UH está en dependencia de AA.

Figura 1

Regresión lineal de la altura de albumen (AA) y la unidad Haugh (UH) del huevo de gallinas ponedoras Hy-Line Brown® sin achiote a temperatura ambiente (25.9 ± 1.2 °C).



Este modelo matemático muestra la dependencia de estas variables para la dieta sin achiote a temperatura ambiente. El R^2 fue 0.927 demostró un alto grado de dependencia. Este modelo ayuda a predecir los cambios de la altura del albumen, lo cual es importante para la oferta y demanda de este producto. La calidad de este producto es medida por la unidad Haugh y este disminuye con el tiempo, debido a la respiración e incremento de pH del albumen (Jin et al. 2011). Con la formula generada por la regresión lineal podemos predecir el cambio de la unidad Haugh solamente con el uso de AA. Los productores de esta manera podrán medir la AA con herramientas más prácticas como lo es un pie de rey y así calcular la calidad interna del huevo. Cada regresión lineal es propia de cada tratamiento.

En el Cuadro 4 se observaron los resultados de los indicadores de calidad externa e interna de los huevos con achiote almacenados durante 10 días a temperatura ambiente (25.9 ± 1.2 °C). Los elementos analizados presentaron diferencias ($P \leq 0.05$). De igual manera que en el anterior cuadro,

el valor de la altura del albumen y unidad Haugh disminuyeron en relación al tiempo. El peso del huevo, la resistencia de la ruptura grosor de la cáscara y el color de la yema se ven poco afectados.

Cuadro 4

Efecto del tiempo en la conservación de la calidad externa e interna del huevo de gallinas ponedoras Hy-Line Brown® almacenado a temperatura ambiente con achiote (25.9 ±1.2 °C).

Días	Indicadores de calidad externa e interna					
	PH (g)	AA (mm)	UH	RR (kg F/cm ²)	CY	GC (mm)
1	63.62 ^{ab}	9.76 ^a	97.08 ^a	4620.20 ^{abc}	4.53 ^{ab}	0.36 ^b
2	63.88 ^{ab}	8.76 ^b	92.02 ^b	4912.80 ^{ab}	4.87 ^a	0.37 ^b
3	62.48 ^{abc}	8.20 ^{bc}	89.40 ^{bc}	4634.27 ^{abc}	4.67 ^{ab}	0.36 ^b
4	63.73 ^{ab}	7.86 ^{bcd}	87.66 ^{bcd}	4261.47 ^{bc}	4.80 ^a	0.34 ^b
5	61.94 ^{abc}	7.99 ^{bc}	88.08 ^{bcd}	4335.67 ^{abc}	4.53 ^{ab}	0.35 ^b
6	60.25 ^{bc}	7.96 ^{bc}	88.88 ^{bc}	4520.87 ^{abc}	4.20 ^{bc}	0.34 ^b
7	61.20 ^{abc}	7.74 ^{cd}	86.92 ^{bcd}	4963.27 ^a	4.73 ^{ab}	0.35 ^b
8	65.13 ^a	7.68 ^{cd}	86.05 ^{cd}	4026.20 ^c	3.93 ^c	0.36 ^b
9	50.92 ^{abc}	7.64 ^{cd}	86.74 ^{bcd}	4537.60 ^{abc}	4.67 ^{ab}	0.35 ^b
10	58.76 ^c	7.00 ^d	83.33 ^d	4938.73 ^a	4.47 ^{ab}	0.39 ^a
EE±	0.450	0.108	0.596	66.640	0.057	0.003
Valor de P	0.045	<0.001	<0.001	0.018	0.006	0.024

Nota. ^{a, b, c, d} Superíndices diferentes en la misma columna difieren a P<0.05. PH: peso del huevo; AA: Altura del albumen; UH: Unidad Haugh; RR: Resistencia a la ruptura de la cáscara; CY: Color de la yema; GC: Grosor de la cáscara.

A diferencia de la dieta control, este concentrado contiene 1.5% de achiote. La *Bixa orellana* es un fruto de origen tropical que se caracteriza por su color rojo intenso. Este colorante es comúnmente utilizado en la preparación de comida. La resina del achiote es conocida como el carotenoide, Bixina (Satyanarayana et al. 2003). El achiote independientemente de su aporte nutricional cuenta con cualidades antioxidativas y antimicrobianas (Medina-Flores et al. 2016).

Debido a que parte de la logística de la producción es el almacenamiento del huevo, es importante conservar el huevo para evitar pérdidas. Con las tendencias de aditivos naturales, se populariza dietas que cumplan con estas normas. Todos los parámetros mostraron diferencias significativas. La unidad Haugh tuvo una media de 83.33 al día 10 desde su puesta y almacenado a

temperatura ambiente a diferencia de 78.08 UH del tratamiento sin achiote. Al suministrar achiote a la dieta del ave, los antioxidantes son absorbidos por el huevo. Estos antioxidantes atrapan los radicales libres que provocan daños en las estructuras celulares. La descomposición del huevo se agrava conforme pasa el tiempo por la exposición de factores ambientales. En los componentes del huevo, los lípidos son los encargados de mantener la conformación y estructura de la célula (Gaschler y Stockwell 2017). Este proceso de degradación tiene como nombre peroxidación lipídica.

El mismo efecto es observable con la altura del albumen la cual fue mayor en el experimento con achiote y disminuyó de valor con el paso de los días; sin embargo, esta fue mayor que la altura del tratamiento sin achiote. Esta disminución es un proceso natural en el cual el mayor factor que afecta a la altura del albumen es el tiempo de almacenamiento (Silversides y Scott 2001).

La resistencia a la ruptura mostró diferencias significativas, con el mayor valor en el día 7. La resistencia de la cáscara de un huevo disminuye en relación al tiempo. La cáscara brinda protección al huevo, pero conforme pasa el tiempo, incrementa el intercambio gaseoso, lo que el dióxido de carbono es eliminado dentro del huevo. Este proceso afecta a la humedad y la proliferación de microorganismos en el huevo (Almeida et al. 2016).

El color de la yema mostró diferencias significativas y un mayor valor de escala de Roche con respecto a la dieta control. Esto es debido a que las aves obtienen de manera principal la pigmentación de la yema, directo de los carotenoides que están agregados en el alimento (Ortiz et al. 2021). El empleo de achiote incrementa la intensidad del color de la yema, lo que es más atractivo para algunos consumidores.

Para el grosor de la cáscara se observaron diferencias significativas. A pesar de ello el control sin achiote obtuvo un mejor grosor en el día número 6. Los rangos del grosor de la cáscara se mantuvieron similares entre los dos tratamientos. Esto es debido a que la composición de la cáscara depende mayormente de la deposición de carbonato de calcio (Sazanov et al. 2007). Este grosor de la

cáscara está influenciado por el estrés, salud, alimentación del ave, principalmente (Estrada Osmaida et al. 2008).

En el Cuadro 5 se encontró una correlación de Pearson entre las variables de peso del huevo y altura del albumen. Se encontró una alta correlación entre las variables de altura del albumen y unidad Haugh, también grado asociación entre la resistencia de ruptura y el grosor de la cáscara en la dieta con achiote a temperatura ambiente (25.9 ± 1.2 °C).

Cuadro 5

Correlación de Pearson para los indicadores de la calidad externa e interna del huevo de la dieta con achiote a temperatura ambiente (25.9 ± 1.2 °C).

	AA (mm)	UH	RR (kg F/cm ²)	CY	GC (mm)
PH (g)	0.194*	0.008	0.071	0.004	-0,032
AA (mm)		0.974**	0.056	0.045	-0,03
UH			0.034	0.032	-0.078
RR (kg F/cm ²)				0.034	0.433**
CY					0.009

Nota. ** La correlación es significativa $P < 0.01$; * La correlación es significativa a $P < 0.05$. PH: Peso del huevo; AA: Altura del albumen; UH: Unidad Haugh; RR: Resistencia a la ruptura de la cáscara; CY: Color de la yema; GC: Grosor de la cáscara

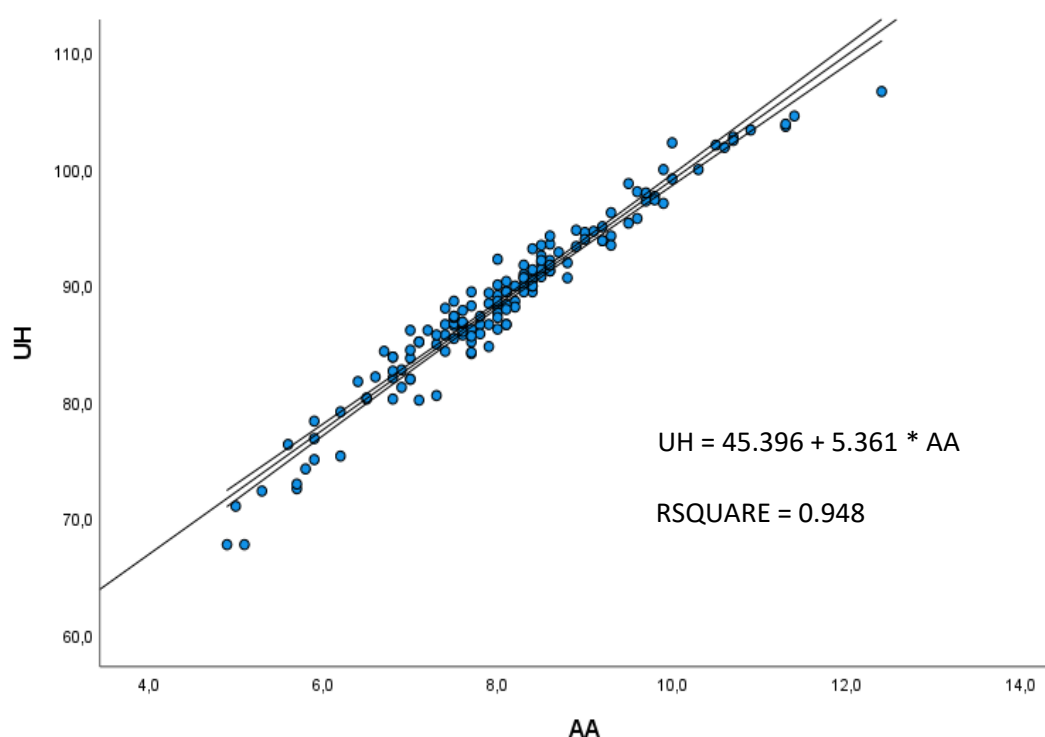
Se observó una correlación entre el peso del huevo y la altura del albumen, debido a que la clara del huevo tiene el mayor volumen en la masa del huevo. Esta correlación no se observó en la dieta sin achiote a temperatura ambiente. El albumen constituye el mayor porcentaje de agua en el huevo, lo que brinda el mayor peso al huevo. Se mostró una correlación significativa para los parámetros de altura del albumen y unidad Haugh. La altura del albumen está directamente relacionada a la unidad de Haugh, ya que parte de la fórmula matemática para calcular la calidad del huevo con lleva el uso de altura del albumen y peso del huevo como datos. Como habíamos indicado, un incremento de la altura del albumen incide en la UH como parámetro de frescura del huevo (Drabik et al. 2021). La resistencia de la ruptura del huevo mostró una correlación estadística con el grosor de la cáscara debido a que la fractura dependerá de su estructura cálcica. Dietas ricas en calcio brindarán

una mejor constitución al cascarón por lo tanto se requerirá de mayor fuerza para su ruptura (López et al. 2021).

En la Figura 2 se puede observar la dispersión de los datos para unidad Haugh y la altura del albumen con un R^2 de 0.948 para el tratamiento de achiote a temperatura ambiental.

Figura 2

Regresión lineal de la altura de albumen (AA) y la unidad Haugh (UH) del huevo de gallinas ponedoras Hy-Line Brown® con achiote a temperatura ambiente ($25.9\pm 1.2^\circ\text{C}$).



Con la regresión lineal como herramienta nos puede ayudar a predecir el comportamiento de la calidad interna del huevo. Los parámetros medidos nos ayudarán a indicar si un huevo es apto para el consumo y si ya está próximo a caducar. Los días de conservación del huevo provoca una disminución de UH debido principalmente a una disminución de la altura del albumen (Menezes et al. 2012). En comparación con el tratamiento sin achiote a temperatura ambiental, la raíz cuadrada de los huevos producidos con achiote a la misma temperatura fue mayor.

En el Cuadro 6 se muestran los resultados de los indicadores de calidad externa e interna de los huevos sin achiote almacenados durante 10 días a temperatura controlada. Todos los indicadores

presentaron diferencias ($P \leq 0.05$). La altura de albumen, unidad Haugh y color de la yema cambiaron notablemente por días experimentales.

Cuadro 6

Efecto del tiempo en la conservación de la calidad externa e interna del huevo de gallinas ponedoras Hy-Line Brown® almacenado a temperatura controlada sin achiote (8.5 ± 0.5 °C).

Días	Indicadores de calidad externa e interna					
	PH (g)	AA (mm)	UH	RR (kg F/cm ²)	CY	GC (mm)
1	63.00 ^{ab}	9.56 ^{bc}	96.48 ^{bcd}	4682.87 ^{ab}	3.60 ^d	0.38 ^a
2	64.14 ^a	10.38 ^a	99.96 ^a	4296.20 ^{abc}	4.67 ^{ab}	0.35 ^{bc}
3	63.60 ^{ab}	9.4 ^{abc}	95.66 ^{bcd}	4428.27 ^{abc}	4.27 ^{bc}	0.35 ^{abc}
4	64.24 ^a	9.04 ^c	93.71 ^d	4531.80 ^{abc}	3.93 ^{cd}	0.36 ^{abc}
5	65.89 ^a	9.56 ^{bc}	95.79 ^{bcd}	4229.67 ^{abc}	4.07 ^{ab}	0.35 ^{abc}
6	62.55 ^{ab}	10.08 ^{ab}	99.01 ^{ab}	4000.60 ^{bc}	4.80 ^a	0.35 ^{bc}
7	63.44 ^{ab}	9.24 ^c	94.74 ^{cd}	4718.27 ^a	4.27 ^{bc}	0.36 ^{abc}
8	59.50 ^b	9.54 ^{bc}	97.24 ^{abc}	4496.73 ^{abc}	3.80 ^{cd}	0.37 ^{ab}
9	64.00 ^a	10.49 ^a	100.50 ^a	3900.60 ^c	4.00 ^{cd}	0.33 ^c
10	64.56 ^a	10.11 ^{ab}	98.56 ^{ab}	4021.47 ^{bc}	4.60 ^{ab}	0.34 ^{bc}
EE±	0.447	0.080	0.3795	68.522	0.061	0.002
Valor de P	0.017	<0.001	<0.001	0.050	<0.001	0.050

Nota. ^{a, b, c, d} Superíndices diferentes en la misma columna difieren a $P < 0.05$. PH: peso del huevo; AA: Altura del albumen; UH: Unidad Haugh; RR: Resistencia a la ruptura de la cáscara; CY: Color de la yema; GC: Grosor de la cáscara.

El peso del ave, la línea genética y la edad influye directamente en el peso de huevo a lo largo de la vida del ave (Silversides y Scott 2001; Tůmová et al. 2011). Para este tratamiento, la altura del albumen estuvo en un rango de 9.04 a 10.38. Destacar, que este indicador (AA) mostró variabilidad en los datos entre 8.75 a 6.52. Estos resultados concuerdan con Jin et al. (2011) el cual obtuvo un rango de 8.77 a 8.09 a lo largo de 10 días a 5 °C. La unidad Haugh al igual que la altura del albumen no indicó disminución y mantuvo su calidad hasta el día 10, estos resultados son similares a los publicados por Martínez y Soliz et al. (2021), los cuales también preservaron su calidad hasta el día 10. La densidad del albumen mantuvo su calidad, quizás debido a una estabilización del pH que mantuvo la densidad del albumen y a la estructura de las membranas que sostiene al albumen (Souza et al. 2021). Los

huevos a temperatura ambiente reducen los valores de AA y UH debido a que el albumen libera CO₂ por la disociación de H₂CO₃ dentro del huevo (Marzec et al. 2019).

El color de yema obtuvo un rango de 3.60 a 4.80, sin cambios aparentes en los días experimentales. No hubo una oxidación en los carotenoides de la yema que disminuye su valor en el tiempo. Además el color dependerá de la dieta o concentrado suministrado, en el caso de las dietas con maíz, el carotenoide involucrado es la zeaxantina (Xiao et al. 2020; Ortiz et al. 2021).

En el Cuadro 7 se encontró correlaciones altamente significativas entre las variables de unidad Haugh y altura de albumen. De igual manera existió una correlación positiva entre el grosor de la cáscara y la resistencia a la ruptura.

Cuadro 7

Correlación de Pearson para los indicadores de la calidad externa e interna del huevo de la dieta sin achiote a temperatura controlada (8.5 ±0.5 °C).

	AA (mm)	UH	RR(kg F/cm ²)	CY	GC (mm)
PH (g)	0.139	-0.114	0.046	0.117	-0.079
AA (mm)		0.965**	-0.122	0.156	-0.134
UH			-0.126	0.135	-0.111
RR(kg F/cm ²)				-0.017	0.556**
CY					-0.150

Nota. ** La correlación es significativa P<0.01; * La correlación es significativa a P<0.05. PH: Peso del huevo; AA: Altura del albumen; UH: Unidad Haugh; RR: Resistencia a la ruptura de la cáscara; CY: Color de la yema; GC: Grosor de la cáscara

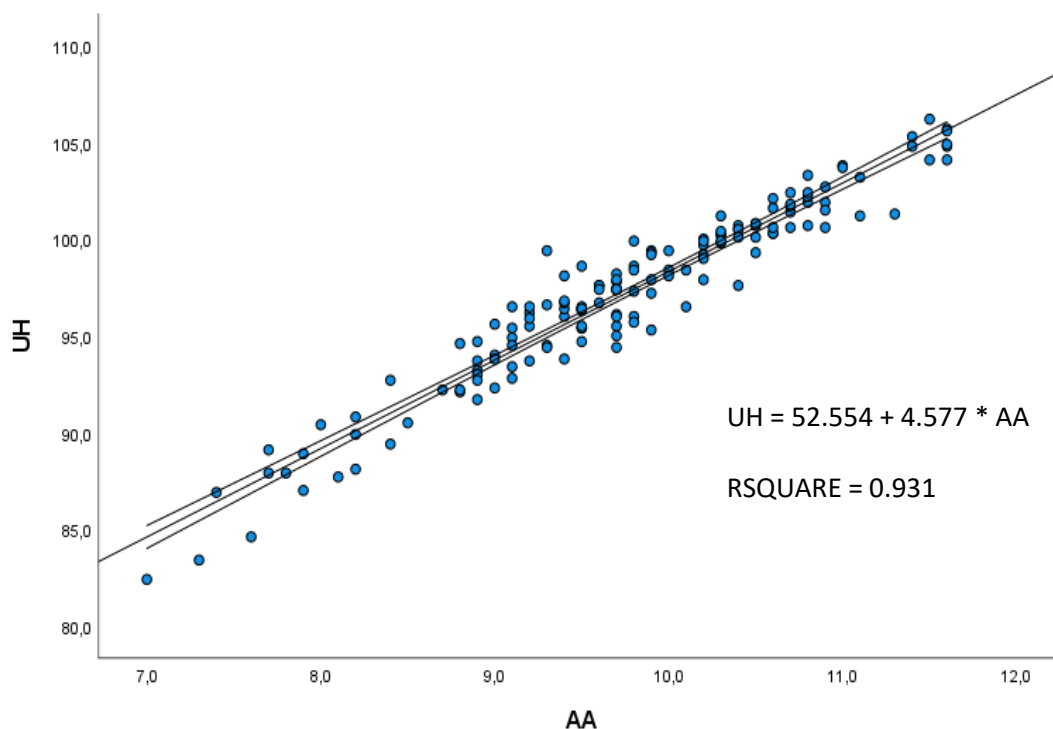
Se observa un grado de asociación entre la altura del albumen y la unidad Haugh, independientemente del método de conservación, ya que en el T1 (150 huevos a temperatura ambiente) también se mostró una alta correlación positiva con valor de 0.963 y en este tratamiento fue de 0.965. Esto se debe a que la unidad Haugh depende de la altura del albumen en la fórmula matemática. La correlación entre el grosor de la cáscara y la resistencia a la ruptura fue mayor en comparación al tratamiento control, ya que este presentó un valor de 0.556 y el control tuvo 0.475 y ambos presentaron significancias en su correlación. Estos datos fueron similares a los presentados por

Martínez y Soliz et al. (2021) quienes observaron una correlación significativa entre los mismos factores.

En la Figura 3 se presenta la regresión lineal entre la altura del albumen y la unidad Haugh en los huevos de gallinas ponedoras Hy-Line Brown® con la dieta sin achiote a temperatura controlada. En este estudio se determinó un alto grado de dependencia entre estos indicadores y presento un R^2 de 0.931.

Figura 3

Regresión lineal de la altura de albumen (AA) y la unidad Haugh (UH) del huevo de gallinas ponedoras Hy-Line Brown® sin achiote a temperatura controlada ($8.5 \pm 0.5^\circ\text{C}$).



Esta regresión lineal tuvo un menor valor que la dieta control, este tratamiento presentó un valor R^2 de 0.931 y el control 0.927, la temperatura controlada demostró reducir los valores de altura de albumen y por ende la unidad Haugh. Este tratamiento mostró una menor variabilidad en comparación con el control. Estos resultados son similares a los trabajos de Martínez y Soliz et al. (2021) quienes también indicó valores altos de R^2 con huevos almacenados a temperatura controlada.

En el Cuadro 8 se observa los resultados de los indicadores de calidad externa e interna de los huevos con achiote almacenados durante 10 días a temperatura controlada (8.5 ± 0.5 °C). Todos los componentes del tratamiento presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

Cuadro 8

Efecto del tiempo en la conservación de la calidad externa e interna del huevo de gallinas ponedoras Hy-Line Brown® almacenado a temperatura controlada con achiote (8.5 ± 0.5 °C).

Días	Indicadores de calidad externa e interna					
	PH (g)	AA (mm)	UH	RR(kg F/cm ²)	CY	GC (mm)
1	61.40 ^b	9.59 ^{bcd}	97.03 ^{bcde}	4595.40 ^{ab}	4.80 ^{abc}	0.36 ^{ab}
2	64.60 ^{ab}	10.23 ^{abc}	99.10 ^{abc}	4591.67 ^{ab}	4.87 ^{abc}	0.35 ^{ab}
3	63.48 ^b	9.42 ^{cd}	95.52 ^{cde}	4984.27 ^a	5.33 ^a	0.36 ^{ab}
4	63.41 ^b	8.96 ^d	93.36 ^e	4417.60 ^b	4.27 ^{cd}	0.34 ^b
5	61.14 ^b	10.10 ^{abc}	99.20 ^{abc}	4134.00 ^b	5.33 ^a	0.35 ^{ab}
6	63.65 ^b	10.36 ^{ab}	99.93 ^{ab}	4212.47 ^b	4.87 ^{abc}	0.35 ^{ab}
7	61.82 ^b	9.18 ^d	94.82 ^{de}	4330.87 ^b	4.53 ^{abc}	0.37 ^a
8	68.63 ^a	9.80 ^{abcd}	96.54 ^{bcde}	4106.80 ^b	4.07 ^a	0.35 ^{ab}
9	65.04 ^{ab}	10.11 ^{abc}	98.55 ^{abcd}	4227.40 ^b	5.00 ^{ab}	0.34 ^b
10	60.28 ^b	10.53 ^a	101.28 ^a	4296.20 ^b	4.80 ^{abc}	0.34 ^b
EE±	0.5251	0.0971	0.4535	57.060	0.076	0.002
Valor de P	0.019	0.001	0.001	0.014	0.001	0.048

Nota. ^{a, b, c, d, e} Superíndices diferentes en la misma columna difieren a $P < 0.05$. PH: peso del huevo; AA: Altura del albumen; UH: Unidad Haugh; RR: Resistencia a la ruptura de la cáscara; CY: Color de la yema; GC: Grosor de la cáscara.

Se obtuvieron diferencias significativas para el peso del huevo en el tratamiento de achiote a temperatura controlada. Se obtuvo un rango mayor en el peso del huevo comparado a la dieta control. Indiscutiblemente, la temperatura es un factor importante para evitar la deshidratación del huevo, se preservó mejor el huevo a diferencias de los tratamientos a temperatura ambiental. A una menor temperatura el huevo se conserva en mejores condiciones cualitativas, comparado con mayores temperaturas (Luo et al. 2020).

Los valores de la altura del albumen son más altos que los encontrados a temperatura ambiental. No se observó una disminución homogénea de la altura del albumen como mostraron los

huevos almacenados a temperatura ambiental. Estos huevos indicaron mayores valores que la temperatura, que es el principal factor que disminuye el espesor del albumen y por lo tanto la viscosidad del gel del albumen (Wang et al. 2019). La temperatura y la humedad relativa influyen directamente en la pérdida por la evaporación de la humedad del huevo. Por otro lado, la temperatura controlada, provoca una mayor conservación del huevo demostrado por la disminución de la pérdida del albumen y la UH (Tomczyk et al. 2019)

La unidad Haugh demostró diferencias significativas. Los resultados fueron mayores a los presentados por el tratamiento testigo a temperatura refrigerada. A menor temperatura el huevo mantiene de manera más eficiente la humedad interna. Debido al tiempo de alojamiento y temperatura, la altura del albumen se vuelve menor por lo cual afecta la unidad Haugh. Los días de conservación disminuye el espesor del albumen y acelera la pérdida de dióxido de carbono lo que permite el la ruptura del complejo electrostático entre lisozimas y ovomucinas (Yimenu et al. 2017).

Además, existieron diferencias significativas para la resistencia de la ruptura de la cáscara del huevo como para el grosor de la cáscara, en el que presentó una disminución, pero en menor cuantía, resultados similares obtuvo Jin et al. (2011). El huevo al estar a temperaturas más bajas se conserva mejor de la deshidratación, pero el cascarón del huevo se expone más a la humedad. La constitución del albumen del huevo está conformada por 55% de ovoalbúmina, durante el almacenamiento se transforma en S-ovoalbúmina, lo que altera de manera irreversible la estructura de la cáscara (Huang et al. 2012).

La yema, específicamente el color, mostró diferencias significativas. Se observaron mayores valores en la escala de Roche con respecto al tratamiento sin achiote a la misma temperatura. Esto es debido a la suplementación de achiote en la dieta. Galobart et al. (2004) estipulan que la suplementación de dietas ricas en xantofilas mejora la coloración de la yema de una manera más barata. Los colores de la yema se mantuvieron homogéneos durante los 10 días que duró el

experimento. La temperatura baja redujo el proceso de peroxidación lipídica y por lo tanto mejores resultados que a temperatura ambiental (Eke et al. 2013).

Se observó una correlación negativa de Pearson para peso del huevo con respecto a la altura del albumen y color de la yema. Se encontró correlación entre la unidad de Haugh con respecto a la altura del albumen y el grosor de la cáscara. Por último, se mostró una alta correlación entre el grosor de la cáscara y la resistencia de la ruptura de esta misma (Cuadro 9).

Cuadro 9

Correlación de Pearson para los indicadores de la calidad externa e interna del huevo de la dieta con achiote a temperatura controlada (8.5 ± 0.5 °C).

	AA (mm)	UH	RR (kg F/cm ²)	CY	GC (mm)
PH (g)	-0.170*	-0.060	0.073	-0.173*	0.070
AA (mm)		0.968**	0.075	0.051	-0.149
UH			0.047	0.090	-0.169*
RR (kg F/cm ²)				0.106	0.345**
CY					-0.021

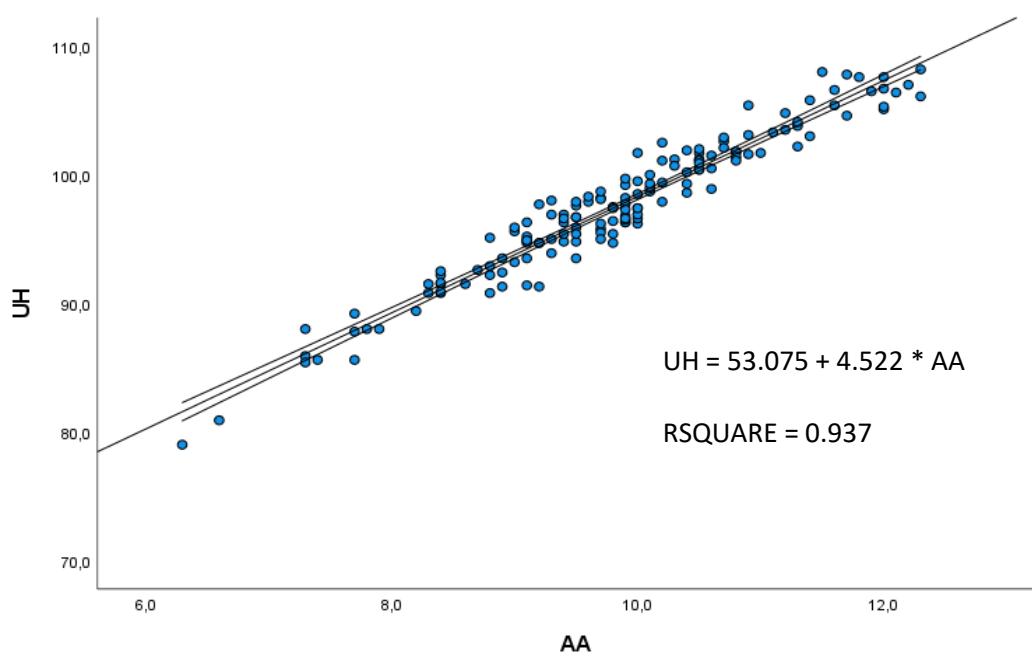
Nota. ** La correlación es significativa $P < 0.01$; * La correlación es significativa a $P < 0.05$. PH: Peso del huevo; AA: Altura del albumen; UH: Unidad Haugh; RR: Resistencia a la ruptura de la cáscara; CY: Color de la yema; GC: Grosor de la cáscara

Como observamos en las correlaciones anteriores la altura del albumen está directamente correlacionada con la unidad Haugh. La unidad Haugh dependerá de la altura del albumen en su punto máximo y el peso total del huevo. Se mostró también la relación entre el grosor de la cáscara y la resistencia de la fractura. Es deseable que el huevo presenté un mayor grosor de la cáscara el huevo para evitar el intercambio gaseoso por los poros que afecté la calidad interna, por lo tanto, se mostró una correlación entre el grosor de la cáscara del huevo y unidad Haugh. Se observó una relación directa entre el peso del huevo y la altura del albumen. Se observó correlación de Pearson entre el peso del huevo y el color de la yema de manera negativa. Con el paso del tiempo la yema absorbe agua del albumen paso mantener la turgencia (Tomczyk et al. 2019), y por lo tanto los carotenos se disuelven el agua.

En la Figura 4 se observa la dispersión de los datos entre altura del albumen y la unidad Haugh para el tratamiento con achiote refrigerado.

Figura 4

Regresión lineal de la altura de albumen (AA) y la unidad Haugh (UH) del huevo de gallinas ponedoras Hy-Line Brown® con achiote a temperatura controlada (8.5 ± 0.5 °C).



En comparación con el tratamiento sin achiote a temperatura refrigerada, se demostró una raíz cuadrada similar. Esto es debido a que la calidad del huevo a temperatura refrigerada se mantendrá durante un lapso de tiempo mayor. El huevo almacenado a menor temperatura, tendrá una deshidratación menor, por lo tanto, la altura del albumen se conservará con una mayor altura. Lo mismo ocurre para la unidad Haugh, ya que tanto el peso del huevo como la altura del albumen se mantendrán debido a la baja temperatura y baja humedad relativa (Samli et al. 2005). De igual manera, procesos como el intercambio gaseoso y actividad microbológica se darán de manera más lenta.

En el Cuadro 10 se observa la interacción entre los factores (días de conservación, temperatura de conservación y el empleo de achiote) analizados en este estudio.

Cuadro 10

Interacción entre los factores de días de conservación, temperatura de conservación y el empleo de achiote.

Días	Indicadores de calidad externa e interna del huevo					
	PH	AA (mm)	UH	RR (kg F/cm ²)	CY	GC (mm)
1	62.38 ^{ab}	9.42 ^a	95.65 ^a	4556.18 ^{ab}	4.08 ^{cd}	0.36 ^a
2	64.55 ^a	9.47 ^a	95.30 ^{ab}	4606.40 ^a	4.50 ^a	0.35 ^{ab}
3	63.32 ^{ab}	8.77 ^b	92.24 ^{bc}	4659.12 ^a	4.45 ^{ab}	0.35 ^{ab}
4	62.68 ^{ab}	8.33 ^b	90.26 ^c	4470.07 ^{ab}	4.13 ^{bcd}	0.35 ^{ab}
5	63.64 ^{ab}	8.72 ^b	91.43 ^c	4230.47 ^b	4.33 ^{abc}	0.34 ^{ab}
6	62.09 ^b	8.88 ^{ab}	92.80 ^{abc}	4432.40 ^{ab}	4.33 ^{abc}	0.35 ^{ab}
7	61.73 ^b	8.25 ^b	89.47 ^c	4581.72 ^a	4.22 ^{abc}	0.35 ^{ab}
8	63.94 ^{ab}	8.36 ^b	89.56 ^c	4245.68 ^b	3.82 ^d	0.35 ^{ab}
9	63.07 ^{ab}	8.64 ^b	90.88 ^c	4350.43 ^{ab}	4.42 ^{abc}	0.34 ^b
10	61.91 ^b	8.54 ^b	90.31 ^c	4440.28 ^{ab}	4.47 ^{ab}	0.36 ^{ab}
EE±	0.233	0.066	0.365	32.684	0.036	0.001
<i>Achiote</i>						
No	63.10	8.53	90.51	4432.16	3.89	0.360
Si	62.75	8.94	93.07	4482.39	4.66	0.355
EE±	0.233	0.066	0.365	32.684	0.036	0.001
<i>Temperatura</i>						
Ambiente	62.437	7.695	86.237	4554.39	4.06	0.359
Controlada	63.422	9.790	97.352	4360.16	4.49	0.353
EE±	0.2330	0.0667	0.3650	32.684	0.036	0.001
<i>Valor de P</i>						
Días	0.043	<0.001	<0.001	0.022	<0.001	0.034
Achiote	0.435	<0.001	<0.001	0.428	<0.001	0.405
Temperatura	0.030	<0.001	<0.001	0.002	<0.001	0.064
Días x temperatura	0.700	<0.001	<0.001	0.011	0.002	0.003
Días x temperatura	<0.001	0.686	0.495	0.165	<0.001	0.050
Temperatura x achiote	0.650	<0.001	<0.001	0.889	0.001	0.755
Días x temperatura x achiote	0.189	0.610	0.430	0.097	0.026	0.027

Nota.^{a, b, c}, Superíndices diferentes en la misma columna difieren a P<0.05. PH: peso del huevo; AA: Altura del albumen; UH: Unidad Haugh; RR: Resistencia a la ruptura de la cáscara; CY: Color de la yema; GC: Grosor de la cáscara.

El peso del huevo dependerá de muchos factores tanto como la línea genética del ave y la alimentación suministrada. A medida que incrementa el tiempo de conservación del huevo, por efecto acumulativo de la temperatura el peso del huevo (pérdida de peso) y AA disminuyen. La temperatura tiene un rol fundamental en la conservación del huevo, una mayor temperatura y la humedad relativo provoca una mayor evaporación y deshidratación agua en forma de vapor a través de los poros (Kumbar et al. 2016; Marzec et al. 2019). Se encontró que los factores de tiempo y el tratamiento de achiote tuvieron un efecto en peso del huevo, dado que la bixina, aporta antioxidante que atrapan los radicales libre que descomponen el huevo. La altura del albumen al igual que la unidad de Haugh depende directamente del tiempo y de la temperatura. El tiempo de conservación favorece la absorbe contenido del albumen, de esta manera también se reduce la altura de la clara (Tomczyk et al. 2019). La temperatura provoca que el agua se escape por los poros y también permite un intercambio gaseoso. Este intercambio de gases permite la peroxidación lipídica del huevo, lo que disminuye su calidad y acelera la descomposición. La unidad Haugh se vio afectada porque si la altura del albumen y peso del huevo decae directamente afectará este valor. La resistencia a la ruptura del huevo disminuye con el tiempo y la temperatura.

Debido a que el carbonato de calcio se debilita por la humedad y temperatura del ambiente a través del tiempo. El carbonato cálcico es susceptible a los factores ambientales, y de esta manera el ablandamiento permitirá el ingreso de oxígeno a través de los poros a la recámara interna del huevo (Kemps et al. 2007). Es importante que el producto sea almacenado en condiciones de temperatura fresca con baja humedad relativa es decir con condiciones secas. El grosor de la cáscara también se afectó teniendo en cuenta la interacción de estos tres factores.

En el color de la yema también cambió por efecto de los factores independientes. Los betacarotenos de la yema son deteriorados por el contacto con el oxígeno que se incrementa con el tiempo (Martínez y Orozco et al. 2021); sin embargo, el color es superior al tratamiento sin achiote. El

color de la yema disminuye con el paso del tiempo y sobre todo si se encuentra a una alta temperatura. Así mismo estas reacciones permiten el desarrollo de la actividad microbológica. No solo se presenta ingreso gases sino también de bacterias patógenas que descomponen los componentes tanto en la yema como la clara.

Conclusiones

El uso de achiote a temperatura ambiente incrementó la coloración de yema, altura albumen y unidad Haugh en comparación con la dieta sin aditivo.

La temperatura ambiente y los días de conservación del huevo redujeron la frescura del huevo determinado por la unidad Haugh.

A temperatura refrigerada, el huevo conserva mejor la calidad interna.

Se encontró asociación estadística entre las variables resistencia a la ruptura de la cáscara con grosor de la cáscara y altura del albumen con unidad Haugh, así como grado de dependencia entre estos dos últimos indicadores.

Se encontró interacción entre los factores de la temperatura, tiempo y el achiote para la interna del huevo.

Recomendaciones

Utilizar la *Bixa orellana* en las dietas de aves ponedoras para una mayor vida anaquel del huevo.

Analizar los parámetros de actividad microbiológica en huevos con tratamiento de achiote.

Comparar el achiote con otros aditivos de propiedades antioxidantes para determinar la calidad externa e interna del huevo en anaquel.

Referencias

A. Satyanarayana, P.G. Prabhakara Rao, D.G. Rao. 2003. Chemistry, Processing and Toxicology of Annatto (*Bixa orellana* L.). *Journal of Food Science and Technology -Mysore-*; [consultado el 12 de may. de 2021]. 40(2):131–141. https://www.researchgate.net/profile/prabhakara_pamidighantam2/publication/287555602_chemistry_processing_and_toxicology_of_annatto_bixa_orellana_l.

Abo El-Maaty HA, El-Khateeb AY, Al-Khalaifah H, El Hamed E-SA, Hamed S, El-Said EA, Mahrose KM, Metwally K, Mansour AM. 2021. Effects of ecofriendly synthesized calcium nanoparticles with biocompatible *Sargassum latifolium* algae extract supplementation on egg quality and scanning electron microscopy images of the eggshell of aged laying hens. *Poult Sci.* 100(2):675–684. eng. doi:10.1016/j.psj.2020.10.043.

Akyurek H, Okur AA. 2009. Effect of storage time, temprature and hen age on egg quality in free range layers hens. *Journal of Animal and Veterinary Advances*; [consultado el 10 de may. de 2021]. 8(10):1953–1958. https://www.researchgate.net/publication/289700674_Effect_of_Storage_Time_Temperature_and_Hen_Age_on_Egg_Quality_in_Free-Range_Layer_Hens.

Almeida DS de, Schneider AF, Yuri FM, Machado BD, Gewehr CE. 2016. Egg shell treatment methods effect on commercial eggs quality. *Ciência Rural.* 46(2):336–341. doi:10.1590/0103-8478cr20140904.

An SH, Kim DW, An BK. 2016. Effects of Dietary Calcium Levels on Productive Performance, Eggshell Quality and Overall Calcium Status in Aged Laying Hens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences.* 29(10):1477–1482. eng. doi:10.5713/ajas.15.0655.

Castillo C, Cuca M, Pro A, González M, Morales E. 2004. Biological and economic optimum level of calcium in White Leghorn laying hens. *Poult Sci.* 83(6):868–872. eng. doi:10.1093/ps/83.6.868.

Da S Oliveira G, Dos Santos VM, Rodrigues JC, Santana ÂP. 2020. Conservation of the internal quality of eggs using a biodegradable coating. *Poult Sci.* 99(12):7207–7213. eng. doi:10.1016/j.psj.2020.09.057.

Drabik K, Batkowska J, Próchniak T, Horecka B. 2021. Citric acid as a factor limiting changes in the quality of table eggs during their storage. *Poult Sci.* 100(4):100995. eng. doi:10.1016/j.psj.2021.01.018.

Eke MO, Olaitan NI, Ochefu JH. 2013. Effect of Storage Conditions on the Quality Attributes of Shell (Table) Eggs. *Nigerian Food Journal.* 31(2):18–24. doi:10.1016/S0189-7241(15)30072-2.

Estrada Osmaida C, Larrent N, Marroquin Angelita T, Cos Yusell D, Bázquez GR. 2008. La calcárea fosfórica en el mejoramiento de la calidad de la cáscara del huevo en gallinas ponedoras. *REDVET. Revista electronica de veterinaria.* 9(3):1–5.

Galobart J, Sala R, Rincón-Carruyo X, Manzanilla EG, Vilà B, Gasa J. 2004. Egg Yolk Color as Affected by Saponification of Different Natural Pigmenting Sources. *Journal of Applied Poultry Research.* 13(2):328–334. doi:10.1093/japr/13.2.328.

Gaschler MM, Stockwell BR. 2017. Lipid peroxidation in cell death. *Biochem Biophys Res Commun.* 482(3):419–425. eng. doi:10.1016/j.bbrc.2016.10.086.

Huang Q, Qiu N, Ma MH, Jin YG, Yang H, Geng F, Sun SG, Sun SH. 2012. Estimation of egg freshness using S-ovalbumin as an indicator. *Poult Sci.* 91(3):739–743. eng. doi:10.3382/ps.2011-01639.

Instituto de Estudios del Huevo. 2009. *El gran libro del huevo.* 1ª ed. Madrid, España: Editorial Everest. 168 p. ISBN: 978-84-441-0208-5.

Jin YH, Lee KT, Lee WI, Han YK. 2011. Effects of Storage Temperature and Time on the Quality of Eggs from Laying Hens at Peak Production. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences.* 24(2):279–284. doi:10.5713/ajas.2011.10210.

Jones DR, Musgrove MT. 2005. Effects of extended storage on egg quality factors. *Poult Sci.* 84(11):1774–1777. eng. doi:10.1093/ps/84.11.1774.

Keener KM, McAvoy KC, Foegeding JB, Curtis PA, Anderson KE, Osborne JA, Bush DJ. 2006. Effect of testing temperature on internal egg quality measurements. *Poult Sci.* 85(3):550–555. eng. doi:10.1093/ps/85.3.550.

Kemps BJ, Ketelaere B de, Bamelis FR, Mertens K, Decuyper EM, Baerdemaeker JG de, Schwägele F. 2007. Albumen freshness assessment by combining visible near-infrared transmission and low-resolution proton nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Poult Sci.* 86(4):752–759. eng. doi:10.1093/ps/86.4.752.

Kumbar V, Nedomova S, Trnka J, Buchar J, Pytel R. 2016. Effect of storage duration on the rheological properties of goose liquid egg products and eggshell membranes. *Poult Sci.* 95(7):1693–1701. eng. doi:10.3382/ps/pew094.

Liu YC, Chen TH, Wu YC, Tan FJ. 2017. Determination of the quality of stripe-marked and cracked eggs during storage. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences.* 30(7):1013–1020. eng. doi:10.5713/ajas.16.0440.

López H, González L, Monroy-Barreto M, Perez G, Olvera L. 2021. Bioavailability of four calcium sources in the second-cycle egg-producing hens. *Journal of Applied Poultry Research.* 30(1):100106. doi:10.1016/j.japr.2020.10.005.

Luo W, Xue H, Xiong C, Li J, Tu Y, Zhao Y. 2020. Effects of temperature on quality of preserved eggs during storage. *Poult Sci.* 99(6):3144–3157. eng. doi:10.1016/j.psj.2020.01.020.

Martínez Y, Orozco CE, Montellano RM, Valdivié M, Parrado CA. 2021. Use of achiote (*Bixa orellana* L.) seed powder as pigment of the egg yolk of laying hens. *Journal of Applied Poultry Research.* 30(2):100154. doi:10.1016/j.japr.2021.100154.

Martínez Y, Soliz ND, Bejarano MA, Paz P, Valdivie M. 2021. Effect of storage duration and temperature on daily changes in external and internal egg quality of eggs from Dekalb White® laying hens. *European Poultry Science.* 85:1–14. doi:10.1399/eps.2021.329.

Marzec A, Damaziak K, Kowalska H, Riedel J, Michalczyk M, Koczywas E, Cisneros F, Lenart A, Niemiec J. 2019. Effect of Hens Age and Storage Time on Functional and Physiochemical Properties of Eggs. *Journal of Applied Poultry Research*. 28(2):290–300. doi:10.3382/japr/pfy069.

Medina-Flores D, Ulloa-Urizar G, Camere-Colarossi R, Caballero-Garcıa S, Mayta-Tovalino F, del Valle-Mendoza J. 2016. Antibacterial activity of *Bixa orellana* L. (achiote) against *Streptococcus mutans* and *Streptococcus sanguinis*. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*. 6(5):400–403. doi:10.1016/j.apjtb.2016.03.005.

Menezes PC de, Lima ER de, Medeiros JP de, Oliveira WNK de, Evencio-Neto J. 2012. Egg quality of laying hens in different conditions of storage, ages and housing densities. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 41(9):2064–2069. doi:10.1590/S1516-35982012000900014.

Oliveira GE, Figueiredo TC, Souza MR, Oliveira AL, Canado SV, Gloria MBA. 2009. Bioactive amines and quality of egg from Dekalb hens under different storage conditions. *Poult Sci*. 88(11):2428–2434. doi:10.3382/ps.2009-00028.

Ortiz D, Lawson T, Jarrett R, Ring A, Scoles KL, Hoverman L, Rocheford E, Karcher D, Rocheford T. 2021. Biofortified orange corn increases xanthophyll density and yolk pigmentation in egg yolks from laying hens. *Poult Sci*. 100(7):1–9. doi:10.1016/j.psj.2021.101117.

Rojas V. V, Callacna C. M, Arnaiz P. V. 2015. Use of an additive canthaxanthin based and annatto extract in diets of laying hens and its effect on the color of the yolk and the egg shelf life. *Scientia agropecuaria*. 6(3):191–199. doi:10.17268/sci.agropecu.2015.03.05.

Samli HE, Agma A, Senkoylu N. 2005. Effects of Storage Time and Temperature on Egg Quality in Old Laying Hens. *Journal of Applied Poultry Research*. 14(3):548–553. doi:10.1093/japr/14.3.548.

Sazanov AA, Stekol'nikova VA, Korczak M, Sazanova AL, Jaszczak K, Zieba G, Malewski T. 2007. Expression of positional candidates for shell thickness in the chicken. *Poult Sci*. 86(1):202–205. doi:10.1093/ps/86.1.202.

Sepúlveda Rincón Ct, Ciro Gómez GL, Zapata Montoya JE. 2016. Extracción de compuestos fenólicos y actividad antioxidante de hojas de *Bixa orellana* L. (achiote). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*; [consultado el 23 de may. de 2021]. 21(2):133-144. <http://scielo.sld.cu/pdf/pla/v21n2/pla02216.pdf>.

Silversides FG, Scott TA. 2001. Effect of storage and layer age on quality of eggs from two lines of hens. *Poult Sci.* 80(8):1240–1245. eng. doi:10.1093/ps/80.8.1240.

Souza RA, Mello J, Ferrari FB, Giampietro-Ganeco A, Souza PA, Borba H, Pizzolante CC. 2021. Internal quality of commercial eggs stored under conditions that simulate storage from laying to consumption. *South African Journal of Animal Science.* 51(1):46–51. doi:10.4314/sajas.v51i1.5.

Suarez-Diéguez T, Badillo-Melo AY, Guzmán-López C, Mercado-Monroy J, Le Trejo-Osti. 2013. Beneficios a la salud de sus componentes funcionales y nutricionales del huevo. *Educación y Salud Boletín Científico de Ciencias de la Salud del ICSA.* 1(2). doi:10.29057/icsa.v1i2.706.

Tomczyk Ł, Szablewski T, Stuper-Szablewska K, Nowaczewski S, Cegielska-Radziejewska R. 2019. The influence of the conditions of acquisition and storage of table eggs on changes in their quality and the presence of mycobiota and *Fusarium* mycotoxins. *Poult Sci.* 98(7):2964–2971. eng. doi:10.3382/ps/pez156.

Trindade JL, Nascimento JW, Furtado DA. 2007. Qualidade do ovo de galinhas poedeiras criadas em galpões no semi-árido paraibano. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.* 11(6):652–657. doi:10.1590/S1415-43662007000600015.

Tůmová E, Englmaierová M, Ledvinka Z, Charvátová V. 2011. Interaction between housing system and genotype in relation to internal and external egg quality parameters. *Czech Journal of Animal Science.* 56(11):490–498. doi:10.17221/3838-CJAS.

Tůmová E, Gous RM. 2012. Interaction between oviposition time, age, and environmental temperature and egg quality traits in laying hens and broiler breeders. *Czech Journal of Animal Science.* 57(12):541–549. doi:10.17221/6411-CJAS.

Wang Y, Wang Z, Shan Y. 2019. Assessment of the relationship between ovomucin and albumen quality of shell eggs during storage. *Poult Sci.* 98(1):473–479. eng. doi:10.3382/ps/pey349.

Xiao N, Zhao Y, Yao Y, Wu N, Xu M, Du H, Tu Y. 2020. Biological Activities of Egg Yolk Lipids: A Review. *J Agric Food Chem.* 68(7):1948–1957. eng. doi:10.1021/acs.jafc.9b06616.

Yimenu SM, Kim JY, Koo J, Kim BS. 2017. Predictive modeling for monitoring egg freshness during variable temperature storage conditions. *Poult Sci.* 96(8):2811–2819. eng. doi:10.3382/ps/pex038.

Zita L, Tůmová E, Štolc L. 2009. Effects of Genotype, Age and Their Interaction on Egg Quality in Brown-Egg Laying Hens. *Acta Veterinaria Brno.* 78(1):85–91. doi:10.2754/avb200978010085.

Anexos

Anexo A

Recolección de huevos de gallinas Hy-Line Brown® en el Centro de Investigación y Enseñanza Avícola de Zamorano.



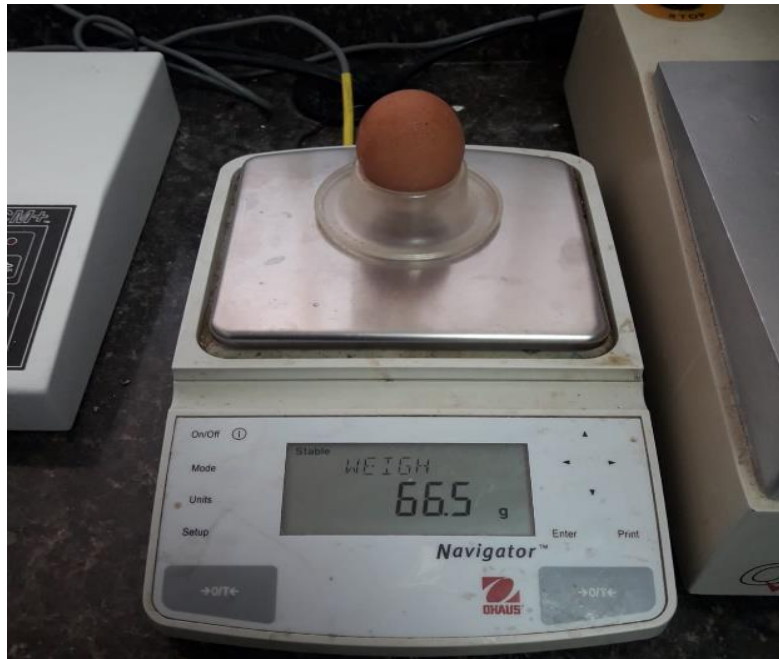
Anexo B

Organización de los huevos por tratamiento.



Anexo C

Medición del peso del huevo con balanza digital OHAUS® (New Jersey, USA) con precisión de ± 0.1 g.



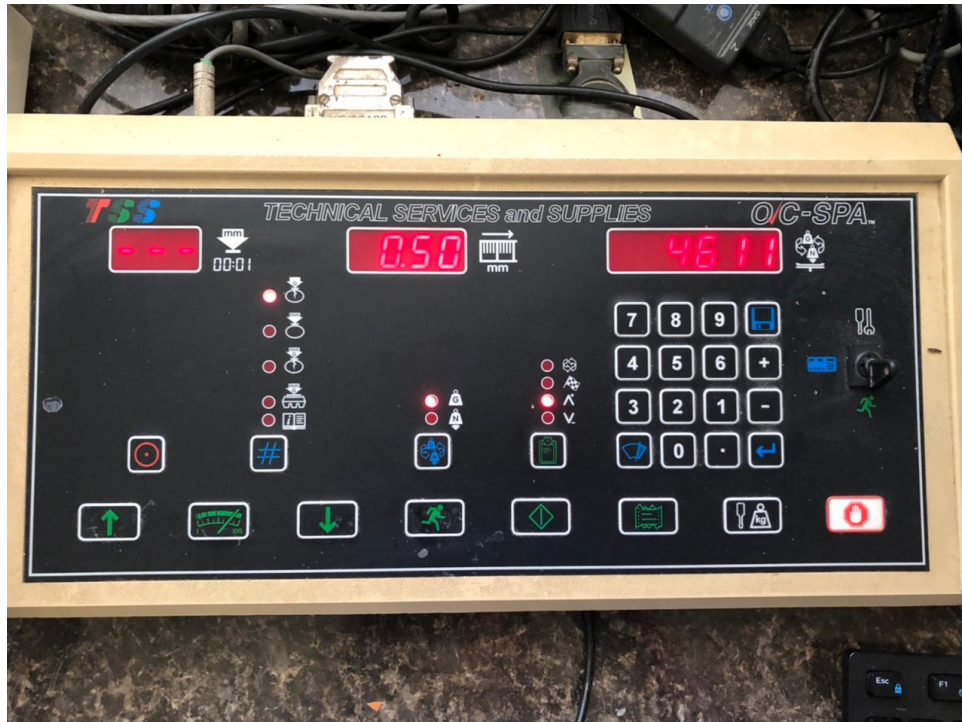
Anexo D

Medición de la resistencia a la fractura del huevo



Anexo E

Panel de resultados de la resistencia de la fractura del huevo



Anexo F

La resistencia a la ruptura en el polo medio mediante fuerza de embalaje QC



Anexo G

Indicador de altura del albumen QHC® con precisión de ± 0.01 mm



Anexo H*Panel de resultados de la altura del albumen*

Anexo I

Medición de coloración de la yema con colorímetro electrónico CCC®



Anexo J*Colorímetro electrónico CCC®*

Anexo K

Micrómetro con precisión de ± 0.001 mm

