

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano

Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

Ingeniería Agronómica



Proyecto Especial de Graduación

**Efecto de la relación de omega 6 y omega 3 en la productividad y
calidad del huevo de gallinas ponedoras**

Estudiantes

Rodrigo Andrés Berreondo Arévalo

Alysson Arianna Plaza Plúas

Asesores

Yordan Martínez, D.Sc.

Patricio E. Paz, Ph.D.

Honduras, julio 2023

Autoridades

SERGIO RODRIGUEZ ROYO

Rector

ANA M. MAIER

Vicepresidenta y Decano Académico

CELIA O. TREJO RAMOS

Directora Departamento Ciencia y Producción Agropecuaria

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros	4
Índice de Anexos	5
Abstract.....	7
Introducción.....	8
Materiales y Métodos	11
Ubicación Experimental	11
Animales y Tratamientos	11
Tratamiento 1	11
Tratamiento 2	11
Tratamiento 3	11
Tratamiento 4	11
Tratamiento 5	11
Condiciones Experimentales	12
Desempeño Productivo.....	12
Calidad del Huevo	13
Perfil de Ácidos Grasos	13
Análisis Estadísticos	13
Conclusiones	22
Recomendaciones	23
Anexos.....	27

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Dietas experimentales para gallinas ponedoras Dekalb White®	12
Cuadro 2 Efecto de la relación de omega 6/omega 3 en el desempeño productivo de gallinas ponedoras Dekalb White (40-50 semanas).....	15
Cuadro 3 Efecto de la relación de omega 6/omega 3 en la calidad externa e interna del del huevo de gallinas ponedoras Dekalb White	16
Cuadro 4 Efecto de la relación de omega 6/omega 3 en el perfil de ácidos grasos del huevo de gallinas ponedoras Dekalb White (50 semanas)	18

Índice de Anexos

Anexo A Gallinas ponedoras Dekalb White (40 – 50 semanas) utilizadas en el experimento, EAP Zamorano.....	27
Anexo B Laboratorio de calidad de huevo en el Centro de Enseñanza Avícola, EAP Zamorano	28
Anexo C Análisis de color de yema en Centro de Investigación y Enseñanza Avícola, EAP Zamorano.	29
Anexo D Preparación de viales en Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ).....	30
Anexo E Máquina Soxtec™ CU 8000 utilizada en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ).....	31
Anexo F Cromatógrafo de gases Agilent 7890A utilizado en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ).	32

Resumen

El objetivo fue evaluar el efecto de diferentes relaciones de omega 6/omega 3 sobre la productividad, calidad del huevo y la deposición de omega 6 y omega 3 en el huevo de gallinas ponedoras Dekalb White®. Un total de 500 gallinas de 40 semanas de edad se distribuyeron aleatoriamente en cinco tratamientos, 20 repeticiones y cinco aves por jaula durante 10 semanas experimentales. Los tratamientos experimentales consistieron en dietas formuladas con proporciones de 5:1, 10:1, 15:1, 20:1 y 25:1 de omega 6/omega 3, siendo la dieta estándar de la industria la relación de 20:1. Los indicadores productivos no cambiaron ($P > 0.05$) por efecto de las dietas experimentales. En la semana 5, la relación de 20:1 de omega 6/omega 3 afectó la calidad interna del huevo al incrementar la altura del albumen y las unidades Haugh. Sin embargo, en la semana 10 experimental, las dietas no cambiaron el peso del huevo, grosor de la cáscara, altura del albumen, unidades Haugh y resistencia a la ruptura de la cáscara del huevo. Además, las relaciones de 25:1 y 20:1 (omega 6/omega 3) redujeron la cuantificación de omega 6, aunque sin cambios para la concentración de omega 3. Según los resultados, las relaciones de 25:1 y 20:1 son recomendables para incrementar la frescura del huevo y mejorar el perfil de ácidos grasos del huevo de gallinas ponedoras por la reducción de ácidos grasos del omega 6.

Palabras clave: Ácidos grasos esenciales, calidad de huevo, gallinas ponedoras, perfil de ácidos grasos, productividad.

Abstract

The objective was to evaluate the effect of different omega 6/omega 3 ratios on productivity, egg quality and omega 6 and omega 3 deposition in the egg of Dekalb White® laying hens. A total of 500 40-week-old hens were randomly distributed into five treatments, 20 replicates and five birds per cage for 10 experimental weeks. The experimental treatments consisted of diets formulated with 5:1, 10:1, 15:1, 20:1 and 25:1 omega 6/omega 3 ratios, with the industry standard diet having a ratio of 20:1. Productive indicators did not change ($P > 0.05$) due to the effect of the experimental diets. At week 5, the 20:1 omega 6/omega 3 ratio affected internal egg quality by increasing albumen height and Haugh units. However, at experimental week 10, the diets did not change egg weight, eggshell thickness, albumen height, Haugh units, and eggshell rupture strength. In addition, ratios of 25:1 and 20:1 (omega 6/omega 3) reduced omega 6 quantification, but no change for omega 3 concentration. According to the results, ratios of 25:1 and 20:1 are recommended to increase egg freshness and improve the fatty acid profile of eggs from laying hens by reducing omega 6 fatty acids.

Keywords: Egg quality, essential fatty acids, fatty acid profile, laying hens, productivity.

Introducción

En la industria agrícola, los productos avícolas siempre han tenido un gran protagonismo, siendo la carne más consumida a nivel mundial, representando así el 40% de la producción mundial de carne en 2021 (FAO 2022). Asimismo, el huevo de gallina (*Gallus domesticus*) ha mostrado un aumento en su consumo y producción en las últimas tres décadas, lo que aumentado en un 150% su producción, la cual se concentra en su mayoría en Asia (FAO 2013).

Las dietas consumidas en la actualidad tienden a no suplir los requerimientos básicos para el correcto funcionamiento del metabolismo, esto se puede deber a malos hábitos alimenticios, pobreza, limitada accesibilidad a alimentos entre otras causas. Por lo que, las empresas productoras han implementado técnicas de mejora continua en sus productos alimenticios, es así como ciertos alimentos llegan al mercado modificados y enriquecidos con componentes nutricionales importantes para el metabolismo, tales como vitaminas, minerales, lípidos y carbohidratos benéficos (Mejía Vásquez 2016).

El huevo se ha vuelto un componente básico de la dieta humana debido a su aporte de proteínas, carbohidratos, vitaminas y minerales, siendo un alimento completo que ofrece un alto contenido nutricional. Asimismo, es un alimento accesible para las masas debido a que pueden ser adquiridos a un bajo precio y en cantidades pequeñas (FAO 2013). Además, su consumo es indiferente a clases sociales, ideologías y ubicación geográfica, de hecho, en una investigación realizada en Monterrey se determinó que el 96.7%, de una muestra de 942 entrevistas, no tiene ninguna restricción por consumir productos avícolas (Alvarado Lagunas et al. 2012).

Dentro de la composición nutricional del huevo se encuentran los ácidos grasos, de los cuales no todos son sintetizados por el cuerpo humano. El omega 3 y omega 6 son ácidos grasos esenciales que, para suplir su requerimiento nutricional, se deben adicionar a la dieta. Estos desarrollan un importante papel a nivel del funcionamiento metabólico del ser humano. Varias investigaciones han comprobado que el consumo de omega 3 tiene efectos de mejora en personas que padecen de artritis,

cáncer, síndrome metabólico, diabetes y en ciertas funciones cerebrales (Castellanos y Rodriguez 2015).

La relación de omega 6 y omega 3, debe ser suministrada al humano de forma balanceada para no provocar daños a la salud. Sin embargo, un buen suministro de esta puede llegar a cubrir los requerimientos nutricionales del humano en sus diferentes etapas. De acuerdo con Lupette y Benning (2020), la dieta optima humana debería incluir una relación desde 1:1 hasta 5:1 para un buen funcionamiento metabólico. Sin embargo, debido a la baja disponibilidad de los alimentos que contienen omega 3, en ocasiones las dietas humanas tiene proporciones de 20:1 (Singh et al. 2017). El omega 6 es un ácido graso que se encuentra presente en varios alimentos de origen vegetal, a diferencia del omega 3, que se encuentra presente en pocos alimentos vegetales.

El incremento de la relación de omega 6/omega 3 se debe al desarrollo de la tecnología, sobre todo de la industria del aceite vegetal (Simopoulos y Cleland 2003). El consumo de grasas insaturadas y alimentos ultra procesados deriva a enfermedades y problemas con la salud. Según Simopoulos (2016) en su estudio, una relación omega-6/omega-3 desequilibrada a favor de los ácidos grasos poliinsaturados omega-6 es altamente protrombótica y proinflamatoria, lo que contribuye a la prevalencia de aterosclerosis, obesidad y diabetes.

Para que el omega 3 pueda ser digerido adecuadamente debe convertirse de ALA a sus precursores (DHA¹, EPA² y DPA³), proceso que ocurre por la acción de la enzima delta – 6 – desaturasa, la cual es la ruta metabólica de los ácidos grasos del omega 6, por lo que existe una competencia entre ambos grupos, con una preferencia hacia el omega 3 (Yalcin y Unal 2010). La síntesis de omega 3 se produce de manera poco eficiente o no se produce en absoluto en las personas mayores y en las más jóvenes (FAO 2013). De acuerdo con Alagawany et al. (2019), las gallinas son más eficientes que ciertos mamíferos al ser capaces de sintetizar EPA y DHA a partir del ácido alfa-linolénico, si este se encuentra en las cantidades adecuadas, por lo que una balanceada administración de omega6/omega 3 en la

¹ DHA: Ácido docosahexaenoico

² EPA: Ácido eicosapentaenoico

³ DPA: Ácido docosapentaenoico

dieta del animal podría ser demostrado en el valor nutricional del huevo, lo que incrementa el contenido de omega 3 en este. Es importante recalcar que las dietas estándares suministradas a las gallinas ponedoras contienen una relación de omega 6/omega 3 de 20:1 (Kralik et al. 2008).

Con la manipulación de la dieta suministrada a las gallinas es posible obtener diferentes relaciones de omega6/omega 3. Se sabe que estos ácidos grasos son esenciales para el funcionamiento del animal, sin embargo, un incremento excesivo del omega 6 podría tener un efecto perjudicial. Como parte de los procesos fisiológicos se encuentran la postura del huevo y la deposición de nutrientes. Por eso, la siguiente investigación tiene como objetivo evaluar el efecto de la relación de omega 6/omega 3 en el desempeño productivo, calidad del huevo y en la deposición de omega 6 y omega 3 en el huevo de gallinas ponedoras.

Materiales y Métodos

Ubicación Experimental

Este estudio se realizó en el Centro de Investigación y Enseñanza Avícola de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, ubicado en el Valle de Yegüare, municipio de San Antonio de Oriente, departamento Francisco Morazán, a 32 km de Tegucigalpa, Honduras a una altura de 800 msnm y una temperatura promedio de 26 °C.

Animales y Tratamientos

Un total de 500 gallinas ponedoras Dekalb White® de 40 a 50 semanas de edad, se distribuyeron según un diseño totalmente aleatorizado durante 10 semanas, con cinco tratamientos, 20 repeticiones por tratamiento y cinco aves por jaula. Las dietas experimentales se muestran en el Cuadro 1. A continuación, se especifican los cinco tratamientos del experimento:

Tratamiento 1

Relación de omega 6/omega 3; 25:1

Tratamiento 2

Relación de omega 6/omega 3; 20:1 (relación estándar de la industria)

Tratamiento 3

Relación de omega 6/omega 3; 15:1

Tratamiento 4

Relación de omega 6/omega 3; 10:1

Tratamiento 5

Relación de omega 6/omega 3; 5:1

Cuadro 1*Dietas experimentales para gallinas ponedoras Dekalb White®*

Ingredientes	n6/n3 (25:1)	n6/n3 (20:1)	n6/n3 (15:1)	n6/n3 (10:1)	n6/n3 (5:1)
Harina de maíz	50.904	50.924	51.04	51.489	51.74
Harina de soya	30.272	30.275	30.255	30.195	29.918
Aceite de palma africana	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00
Sebo de res	5.81	5.928	5.291	2.653	0.00
Aceite de soya	0.00	0.209	0.75	3.00	5.18
Semilla de lino	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50
Enzimas	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Premezcla	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Colina	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Secuestrante de micotoxinas	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Carbonato de calcio grueso	5.366	5.366	5.366	5.366	5.366
Carbonato de calcio fino	4.391	4.391	4.391	4.391	4.391
Fosfato di cálcico	1.626	1.626	1.626	1.625	1.624
Bicarbonato de Na	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
Sal común	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
DL-metionina	0.221	0.221	0.221	0.221	0.221
Costo USD/t	553.30	553.49	553.92	555.68	560.63
<i>Aportes nutricionales</i>					
EM, kcal/kg	2850	2850	2850	2850	2850
PC, %	17.20	17.20	17.20	17.20	17.20
Lys, %	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
Met+cis, %	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
Thr, %	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
Ca, %	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9
P, %	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46
C18:n6	1.225	1.306	1.586	2.750	3.965

Condiciones Experimentales

Las gallinas ponedoras se alojaron en un galpón comercial de 400 m² y en jaula en batería en un sistema de iluminación artificial. El agua se ofreció *ad libitum* en un bebedero de niple y el consumo de alimento se restringió a 110 g/ave. Se suministró 16 horas de luz cada día y no se empleó atención veterinaria terapéutica durante la etapa experimental. Se utilizaron 14 días de adaptación a las nuevas dietas.

Desempeño Productivo

El peso del huevo se determinó en todas las semanas experimentales. Se recolectaron 30 huevos de cada tratamiento entre las 08:30 a 9:30 am y se pesaron en una balanza técnica digital SARTORIUS modelo BL 1500 con precisión ± 0.1 g y se calculó el peso promedio. El consumo de

alimentos se midió tres veces por semana por el método de oferta y rechazo. Para determinar la intensidad de puesta, se consideró la producción total de huevos/semana/tratamiento y se asumió como 100%, un huevo/día/ave alojada. La conversión masal fue calculada teniendo en cuenta el alimento consumido, peso del huevo por repetición y el número de huevos puestos. El porcentaje de los huevos sucios (cascados, fáfara y roto) se calculó utilizando la fórmula 1:

$$\% \text{ Huevos sucios (HS)} = \frac{\# \text{ HS}}{\text{Total de huevos}} \times 100 \quad [1]$$

Calidad del Huevo

En las semanas experimentales 5 y 10, se recolectó 30 huevos por tratamiento y se determinó la calidad externa e interna del huevo en el laboratorio de calidad del huevo en el Centro de Enseñanza e Investigación Avícola de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Se utilizó un equipo automático para determinar el peso del huevo, resistencia a la ruptura, altura de la clara densa, unidad Haugh, color de la yema y grosor de la cáscara en el polo medio.

Perfil de Ácidos Grasos

Se recolectaron huevos frescos de cada tratamiento, se separó la yema de cada uno y homogenizó. Se utilizó la maquina Soxtec™ CU 8000 para extraer los compuestos solubles y obtener solo las grasas, las cuales fueron sometidas a una cromatografía de gases con el implemento Agilent 7890A.

Análisis Estadísticos

Los datos se procesaron mediante análisis de varianza (ANDEVA) de clasificación simple según un diseño totalmente al azar en el software estadístico SPSS versión 23.1. En los casos necesarios se empleó la décima de rangos múltiples de medias de Duncan. Los huevos sucios se determinaron por comparación de proporciones.

Resultados y Discusión

En el Cuadro 2 se presentan los resultados del desempeño productivo de gallinas ponedoras que se sometieron a cinco tratamientos experimentales, con distintas relaciones de omega 6/omega 3 (25:1, 20:1, 15:1, 10:1 y 5:1). En los indicadores de intensidad de postura, peso del huevo, consumo de alimento, conversión masal y porcentaje de huevo sucio, no se encontraron diferencias entre tratamientos ($P > 0.05$). Por lo tanto, no existe efecto directo de la dieta sobre estos indicadores, como lo indica Buitendach et al. (2014) en su investigación, donde menciona que el nivel de ácidos grasos no tiene influencia en productividad de gallinas ponedoras.

El índice de postura no cambió por efecto de las dietas experimentales ($P > 0.05$). Esto está relacionado con lo mencionado por Johnson et al. (2015), quienes indicaron que el cambio de los ácidos grasos en la dietas no tiene influencia en la productividad de las gallinas. En cuanto al peso del huevo, no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos. De acuerdo con Grobas et al. (2001), el peso del huevo puede diferir por múltiples factores, entre ellos, la línea genética de los animales, sin embargo, la proporción o fuente de ácidos grasos ofrecidos en la dieta no provocó un efecto directo en el peso del huevo. Lo mencionado anteriormente concuerda con los resultados obtenidos, ya que todos los tratamientos tuvieron las mismas condiciones experimentales en cuanto a los animales, pues la línea genética y edad eran las mismas, solo varió la dieta suministrada. Por otro lado, se puede observar una tendencia similar en el peso del huevo en todos los tratamientos, ya que no difieran estadísticamente, sin embargo, todos están por encima del peso promedio de 60 g por huevo mencionado por Gerber (2006).

De la misma manera, el consumo alimenticio de las aves no mostró diferencias ($P > 0.05$), este fue calculado con el método de oferta y rechazo. El alimento se suministró de manera restringida a las gallinas, ofreciéndose 110 g de alimento por individuo. Las gallinas ponedoras necesitan alcanzar una edad y peso adecuados para promover la maduración sexual y puesta de huevos, una vez alcanzada, necesitan una dieta de mantenimiento que brinde nutrientes y energía necesaria para actividades metabólicas y fisiológicas (Anene et al. 2023). Se ha demostrado que gallinas con exceso de peso en

la postura presentan una menor eficiencia de conversión de alimento a huevo y una baja calidad de albumina (Anene et al. 2021), así como acumulación de grasa muscular y estrés por calor (Simeneh 2019). Además, Parkinson et al. (2016) indicaron que, al permitir un consumo voluntario, existen variaciones en las cantidades consumidas, lo que tiene una influencia negativa en la calidad interna y externa del huevo, en el caso de las gallinas ponedoras. Con respecto a los índices de consumo omega 6 y omega 3, se mostraron diferencias significativas entre todos los tratamientos, esto debido a que las dietas suministradas contenían diferentes proporciones de fuentes de omega 6 y omega 3.

Cuadro 2

Efecto de la relación de omega 6/omega 3 en el desempeño productivo de gallinas ponedoras Dekalb White (40-50 semanas)

Indicadores	Tratamientos experimentales					EE±	Valor de P
	n6/n3 (25:1)	n6/n3 (20:1)	n6/n3 (15:1)	n6/n3 (10:1)	n6/n3 (5:1)		
IP (%)	92.98	93.02	93.52	93.54	93.94	5.643	0.894
PH (g)	62.83	62.43	62.26	62.24	62.55	0.334	0.723
CA (g/ave/d)	109.99	110.00	110.00	109.99	109.99	0.0394	0.095
CM	1.88	1.89	1.89	1.89	1.87	0.094	0.067
HS (%)	2.30	2.46	3.24	3.26	3.44	0.525	0.426
Cn6 (g/ave/d)	1.35 ^e	1.44 ^d	1.74 ^c	3.04 ^b	4.36 ^a	0.002	<0.001
Cn3 (g/ave/d)	0.05 ^e	0.07 ^d	0.11 ^c	0.29 ^b	0.85 ^a	0.001	<0.001

Nota. ^{a, b, c, d, e} Medias con letras diferentes difieren a $P \leq 0.05$ entre tratamientos. IP: Intensidad de postura; PH: peso del huevo; CA: consumo

de alimento; CM: conversión masal; HS: huevos sucios, Cn6: consumo de omega 6; Cn3: consumo de omega 3.

En el Cuadro 3 se exponen los indicadores evaluados en la calidad externa e interna del huevo durante la semana 5 y semana 10 del experimento. La calidad de los huevos es determinada por criterios específicos que pueden ser físicos, químicos, organolépticos, morfológicos y microbiológicos. La calidad del huevo puede ser afectada por diversos factores de la naturaleza, ya sea internos, como lo pueden ser la genética, edad de la gallina y ciclo de postura, y/o externos, como las condiciones ambientales (artificiales) a las que las gallinas se exponen y sistemas de manejo (Ševčíková 2003).

La calidad del huevo se puede medir tanto de manera externa como interna. La calidad externa del huevo mide características como el peso del huevo, la limpieza del huevo, grosor de la cáscara, dureza de la cáscara, la textura, el color y la forma. Por otro lado, la calidad interna del huevo

está determinada por factores como la altura de la clara o albumina, unidades Haugh y color de la yema.

En la semana 5 se encontró diferencias ($P \leq 0.05$) en la altura de albumen en el tratamiento de la relación 20:1, lo cual difiere de todas los demás, similar ocurrió con las unidades Haugh. El resto de los tratamientos no mostraron diferencias entre ellos. Los demás criterios no mostraron diferencias en ninguno de los tratamientos ($P > 0.05$). En la semana 10 no se mostró diferencias significativas en cuanto a la altura del albumen, unidades Haugh, resistencia de ruptura, color de yema y grosor de la cascara en ninguno de los tratamientos.

Cuadro 3

Efecto de la relación de omega 6/omega 3 en la calidad externa e interna del del huevo de gallinas ponedoras Dekalb White

Indicadores	Tratamientos experimentales					EE±	Valor de P
	n6/n3 (25:1)	n6/n3 (20:1)	n6/n3 (15:1)	n6/n3 (10:1)	n6/n3 (5:1)		
Semana 5							
AA (mm)	11.72 ^b	12.20 ^a	11.72 ^b	11.41 ^b	11.51 ^b	0.162	0.008
UH	105.36 ^b	107.51 ^a	105.39 ^b	104.37 ^b	104.70 ^b	0.644	0.008
RR (kgF/cm ²)	5794.6	5732.5	5769.9	5757.9	5705.4	30.396	0.347
CY (DSM)	2.97	2.93	2.80	2.87	2.67	0.098	0.211
GC (mm)	0.36	0.36	0.34	0.35	0.36	0.05	0.329
Semana 10							
AA (mm)	11.39	11.12	11.13	11.02	11.26	0.172	0.586
UH	104.43	103.35	103.51	103.18	103.95	0.702	0.724
RR (kgF/cm ²)	5802.9	5826.6	5823.2	5832.2	5892.6	26.709	0.437
CY (DSM)	2.90	2.8	2.73	2.97	2.72	0.039	0.247
GC (mm)	0.37	0.38	0.38	0.37	0.37	0.004	0.597

Nota. ^{a, b} Medias con letras diferentes difieren a $P \leq 0.05$ entre tratamientos. AA: altura del albumen; UH: unidad Haugh; RR: resistencia de ruptura de cáscara; CY: color de yema; GC: grosor de la cáscara.

La altura del albumen es considerada uno de los principales parámetros que indican la calidad interna del huevo. De acuerdo con Scott y Silversides (2000), es influenciada por factores como el tiempo de almacenamiento, condiciones de almacenamiento y edad de las gallinas. Conforme pasa el tiempo, la altura del albumen disminuye gradualmente (Rizzi 2021), así como el valor proteico, debido a que la mayor proporción de proteína se encuentra en esta porción (Martínez et al. 2021). En este caso, los huevos contienen una altura de albumen considerablemente alta debido a que fueron

analizados cuando fueron recién recolectados. Además, de acuerdo con Chan-Colli et al. (2007), en el peso del huevo se contempla el contenido de la yema y el albumen, el cual representa dos tercios del peso total.

Relacionado a lo anteriormente mencionado, las unidades Haugh en la quinta semana también presentan cambios notables en el tratamiento 20:1 ($P \leq 0.05$), debido que son el resultado de la relación entre la altura del albumen y el peso del huevo (Narushin et al. 2021). De esta manera, las unidades Haugh pueden ser tomadas como indicadores directos de la calidad de huevo, ya que considera el contenido proteico del albumen y todos los demás nutrientes que tiene el huevo.

En cuanto al color de yema, no se encontraron diferencias ($P > 0.05$) entre los tratamientos. De acuerdo con Ahmadi y Rahimi (2011), el color de yema varía según la preferencia del consumidor en distintas partes del mundo y puede ser modificada con la adición de pigmentos de origen tanto natural como sintético. En cuanto al grosor de la cáscara, no hay diferencias entre los tratamientos ($P > 0.05$), esto concuerda con lo mencionado por Roberts (2005), quien indicó que el grosor de la cascara está directamente relacionado con la edad de las gallinas, lo cual no tiene efecto en el presente estudio, ya que todas las gallinas tenían la misma edad.

En el Cuadro 4 se observa perfil de ácido grasos del huevo, se encontró diferencias ($P \leq 0.05$) para el ácido pentadecílico, ácido linoleico, ácido γ -linolénico, ácido alfa-linolénico, ácido eicosadienoico, ácido araquidónico y ácido adrenico. Asimismo, se mostraron diferencias en la sumatoria de ácidos grasos saturados, ácidos grasos monoinsaturados, ácidos grasos poliinsaturados, la relación de ácidos grasos saturados/poliinsaturados y omega 6 ($P \leq 0.05$). Por otro lado, la relación de omega 6/omega 3 no tuvo efecto sobre la deposición de omega 3 en el huevo, ni presentó cambios en la relación de omega 6/omega 3 depositada en el huevo de las gallinas ponedoras.

Cuadro 4

Efecto de la relación de omega 6/omega 3 en el perfil de ácidos grasos del huevo de gallinas

ponedoras Dekalb White (50 semanas)

Perfil de ácidos grasos	Tratamientos experimentales					EE±	Valor de P
	n6/n3 (25:1)	n6/n3 (20:1)	n6/n3 (15:1)	n6/n3 (10:1)	n6/n3 (5:1)		
Ácido butírico	2.27	4.04	1.96	2.51	3.65	0.859	0.403
Ácido pentadecílico	0.12 ^a	0.13 ^a	0.08 ^b	0.08 ^b	0.08 ^b	0.010	0.014
Ácido palmítico	23.54	22.74	22.12	22.78	22.58	0.490	0.409
Ácido margárico	0.19	0.25	0.20	0.18	0.18	0.023	0.306
Ácido esteárico	7.55	7.36	7.14	7.32	7.59	0.213	0.588
Ácido tridecenoico	0.31	0.26	0.29	0.35	0.28	0.047	0.675
Ácido palmitoleico	1.97	2.04	1.97	2.08	1.92	0.062	0.461
Ácido margárico	0.11	0.14	0.12	0.13	0.13	0.013	0.809
Ácido petroselinico	0.10	0.15	0.13	0.11	0.10	0.018	0.286
Ácido oleico	38.45	37.30	39.28	37.50	37.29	0.584	0.136
Ácido gadoléico	0.12	0.18	0.15	0.12	0.13	0.025	0.417
Ácido linoleico	21.97 ^c	21.62 ^c	22.84 ^{ab}	23.06 ^a	22.16 ^b	0.225	0.005
Ácido γ-linolénico	0.09 ^b	0.22 ^a	0.14 ^{ab}	0.17 ^{ab}	0.10 ^b	0.035	0.012
Ácido alfa-linolénico	0.87 ^b	1.16 ^a	0.84 ^b	1.03 ^b	0.96 ^b	0.064	0.029
Ácido eicosadienoico	0.13 ^b	0.19 ^{ab}	0.26 ^a	0.24 ^a	0.12 ^b	0.024	0.006
Ácido eicosatrienoico	0.14	0.21	0.16	0.17	0.17	0.025	0.457
Ácido araquidónico	0.86 ^b	0.80 ^b	0.95 ^b	0.98 ^b	1.18 ^a	0.059	0.011
Ácido adrenico	0.09 ^b	0.15 ^{ab}	0.16 ^a	0.11 ^{ab}	0.11 ^{ab}	0.018	0.011
Ácido docosapentaenoico (DPA)	0.11	0.15	0.17	0.11	0.09	0.023	0.163
Ácido docosahexaenoico (DHA)	0.52	0.44	0.49	0.46	0.56	0.058	0.617
Ácido palmitelaídico	0.47	0.49	0.55	0.52	0.53	0.025	0.342
AGS	33.67 ^{ab}	34.51 ^a	31.51 ^b	32.87 ^{ab}	34.08 ^a	0.756	0.011
AGM	41.07 ^{ab}	40.06 ^{ab}	41.94 ^a	40.28 ^{ab}	39.95 ^b	0.562	0.014
AGPI	24.78 ^c	24.94 ^c	26.00 ^{ab}	26.33 ^a	25.45 ^{bc}	0.263	0.008
AGS/AGPI	1.36 ^a	1.38 ^a	1.21 ^b	1.25 ^{ab}	1.34 ^{ab}	0.041	0.050
Omega 6	23.14 ^c	22.98 ^c	24.35 ^{ab}	24.56 ^a	23.67 ^b	0.240	0.003
Omega 3	1.64	1.96	1.66	1.77	1.77	0.138	0.375
Omega 6/3	14.16	12.27	14.82	13.90	13.34	0.949	0.300

Nota. ^a, ^b, ^c Medias con letras diferentes difieren a $P \leq 0.05$ entre tratamientos. AGS: ácidos grasos saturados; AGM: ácidos grasos

monoinsaturados; AGPI: ácidos grasos poliinsaturados.

En el caso de ácido pentadecílico se mostró diferencias ($P \leq 0.05$) en los tratamientos de las relaciones 25:1 y 20:1 con respecto a los otros tratamientos. En estos dos tratamientos se encuentran los niveles de inclusión de sebo de res más altos, con respecto a las demás dietas. De acuerdo con Imamura et al. (2018), el ácido pentadecílico se puede encontrar en carne vacuna y en pescado. Por lo que, con las concentraciones de sebo de res que se utilizaron en las dietas de 25:1 y 20:1, se estimula la síntesis del ácido.

También, se encontraron diferencias significativas en el ácido linoleico entre los tratamientos. El ácido linoleico proviene mayormente en el aceite de soya en la dieta de este estudio. En este caso, las relaciones de 20:1 y 25:1 mostraron la menor deposición de este ácido en el huevo. Según Guenter et al. (1971), la inclusión de ácido linoleico de alta pureza (95%) en la dieta de las gallinas redujo significativamente la deposición de ácido linoleico en los huevos. Por otro lado, Shafey et al. (1992) indicaron que la inclusión de aceites vegetales en la dieta conduce a un aumento del contenido de ácido linoleico en el huevo. En este estudio se ve reflejado que, a medida aumenta la relación de omega 6/omega 3, la deposición del ácido linoleico en el huevo es menor.

En el ácido γ -linolénico (GLA) se mostró una diferencia en la relación 20:1, 15:1 y 10:1 con respecto a las relaciones 25:1 y 5:1. Este ácido es perteneciente al grupo omega 6 y es producido como intermediario en la síntesis del ácido linoleico, por la acción de la enzima delta 6 – desaturasa. Destacar, que este ácido graso ha tomado protagonismo en la salud humana debido a que posee propiedades antiinflamatorias, por lo que el consumo de huevos con este ácido podría ayudar a la prevención de enfermedades inflamatorias como la artritis, psoriasis, entre otras afecciones (Kapoor y Huang 2006).

El ácido alfa-linolénico se depositó en mayor proporción en la relación 20:1. Este ácido graso (ALA) compite por la misma ruta metabólica en la gallina, de la misma manera, compiten por la enzima delta 5 y 6 desaturasa; ALA tiene mayor afinidad por esta enzima que a la vez limita la síntesis de ácido araquidónico proveniente de ácido linoleico (Yalcin y Unal 2010). Por otro lado, el ácido araquidónico muestra diferencias significativas solamente en la relación 5:1, en la que se evidencia el mayor contenido de este ácido (1.18). En este caso, se evidenció que en la gallina la enzima tuvo preferencia sobre el omega 6, debido a que, aunque el omega 3 estaba presente en la dieta, de igual manera se sintetizó y depositó ácido araquidónico en el huevo, debido a los altos niveles de inclusión de omega 6 en la dieta. Lo anteriormente mencionado concuerda con un estudio realizado por Du et al. (2000), en el que se concluyó que los niveles de ácido araquidónico están linealmente relacionado con la oferta de ácido linoleico en la dieta.

El ácido adrenico cambió entre los tratamientos 25:1 y 15:1. Este ácido es relevante en el metabolismo de la gallina debido a que está estrechamente relacionado con el contenido de ácido araquidónico, el cual es su precursor inmediato (Wijendran et al. 2002). Por otro lado, Lin et al. (1991) determinaron que la presencia del ácido adrenico puede atribuirse a la síntesis de los precursores presentes en la gallina perteneciente al grupo de los ácidos grasos del omega 6.

En cuanto a los ácidos grasos saturados, se encuentra una diferencia de los tratamientos de las relaciones 20:1 y 5:1 sobre la relación 15:1. El consumo de ácidos grasos saturados está relacionado a incrementos de colesterol en la sangre, por ellos ha sido asociado con enfermedades cardiovasculares (Siri-Tarino et al. 2010). En la relación 20:1 y 5:1 se ha demostrado el valor más alto en el contenido del huevo que, basado en lo que Siri-Tarino et al. (2010) mencionan, es perjudicial. Además, concuerda con los resultados del estudio de Batkowska et al. (2021), donde a medida se adiciona ingredientes altos en AGPI, los AGS disminuyen.

Sobre la suma de los ácidos monoinsaturados existe diferencias significativas entre las relaciones 15:1 y 5:1. Du et al. (2000) indicaron que los niveles de ácidos grasos monoinsaturados se reducen según se aumentan los ácidos grasos pertenecientes al omega 3. Esto se puede evidenciar en el Cuadro 4, en la que hay un decrecimiento de los ácidos monoinsaturados según la relación omega 6/omega 3 disminuye debido a la mayor concentración de omega 3.

Acerca de la sumatoria de los ácidos grasos poliinsaturados las relaciones 15:1 y 10:1 difieren de las relaciones 25:1 y 20:1. De la misma manera, las relaciones 10:1 y 5:1 difieren entre ellas. Esto es debido a las diferentes proporciones de ácidos grasos, como lo son omega 6 y omega 3, en la dieta que la gallina utiliza para sus diferentes procesos fisiológicos. En este caso, las concentraciones en las que se ofrecían bajan a medida la relación sube, de esta manera también reducen la deposición de estos ácidos grasos poliinsaturados en el huevo. Lo anteriormente mencionado concuerda con lo establecido por Attia et al. (2022), quienes indicaron que, al existir un aumento en el contenido de omega 3, se evidencia una reducción en la relación omega 6/omega 3, la cual se ve reflejada directamente en el contenido del huevo.

Con respecto a la relación que existe entre los ácidos grasos saturados y los ácidos grasos poliinsaturados, solo se encuentra diferencias significativa en los tratamientos 25:1 y 20:1 sobre el tratamiento 15:1. Valores mayores a 0.4 han sido en esta relación reportados por Wood et al. (2004) beneficiosos en la reducción del colesterol en la sangre. En este caso, todos los valores son mayores a 0.40, indicando así una buena calidad en el huevo. Además, se obtuvieron resultados similares a la investigación de Delgado-Pando et al. (2010), en cuyo experimento la relación AGS/AGPI aumentó hasta 1.70 debido a que los ácidos grasos saturados al disminuir, los poliinsaturados aumentaron.

Sobre el omega 6 depositado en el huevo, la menor deposición en el huevo existió en las relaciones de 25:1 y 20:1. Esto debido a que, a pesar de que la relación es mayor, las concentraciones se encuentran bajas. Por lo que, con estos niveles de inclusión, el omega 3 reafirma su afinidad con la enzima delta-6-desaturasa (Yalcin y Unal 2010), por lo que se prioriza la elongación y desaturación de este ácido graso. Por eso, la cantidad de omega 6 depositado en el huevo, es menor en relación con los demás tratamientos.

Conclusiones

Las diferentes relaciones de omega 6/omega 3 no cambiaron el desempeño productivo de las gallinas ponedoras.

El cambio en las relaciones de omega 6/omega 3 afectó la calidad interna del huevo en semana 5, pero sin efectos en semana 10.

Las relaciones de 25:1 y 20:1 (omega 6/omega 3) redujeron la cuantificación de omega 6, aunque sin cambios para la concentración de omega 3.

Recomendaciones

Realizar otros estudios con diferentes relaciones del perfil de ácidos grasos de las aves.

Determinar el perfil metabólico de gallinas ponedoras alimentadas con diferentes proporciones de omega 6/omega 3.

Referencias

- Ahmadi F, Rahimi F. 2011. Factors affecting quality and quantity of egg production in laying hens: a review. *World Applied Sciences Journal*. 12(3):372–384. English.
- Alagawany M, Elnesr SS, Farag MR, Abd El-Hack ME, Khafaga AF, Taha AE, Tiwari R, Yatoo MI, Bhatt P, Khurana SK, et al. 2019. Omega-3 and Omega-6 Fatty Acids in Poultry Nutrition: Effect on Production Performance and Health. *Animals (Basel)*. 9(8). eng. doi:10.3390/ani9080573.
- Alvarado Lagunas E, Luyando Cuevas JR, Téllez Delgado R. 2012. Caracterización del consumidor de la carne de pollo en el área metropolitana de Monterrey. *Región y Sociedad*. 24(54):175–196. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252012000200006&lng=es&nrm=iso&tIng=es.
- Anene D, Akter Y, Thomson PC, Groves P, O'Shea CJ. 2023. Effect of restricted feeding on hen performance, egg quality and organ characteristics of individual laying hens. *Animal Nutrition*. doi:10.1016/j.aninu.2023.05.001.
- Anene DO, Akter Y, Thomson PC, Groves P, Liu S, O'Shea CJ. 2021. Hens That Exhibit Poorer Feed Efficiency Produce Eggs with Lower Albumen Quality and Are Prone to Being Overweight. *Animals*. 11(10). eng. doi:10.3390/ani11102986+.
- Attia YA, Al-Harhi MA, Al-Sagan AA, Alqurashi AD, Korish MA, Abdulsalam NM, Olal MJ, Bovera F. 2022. Dietary Supplementation with Different ω -6 to ω -3 Fatty Acid Ratios Affects the Sustainability of Performance, Egg Quality, Fatty Acid Profile, Immunity and Egg Health Indices of Laying Hens. *Agriculture*. 12(10):1712. doi:10.3390/agriculture12101712.
- Batkowska J, Drabik K, Brodacki A, Czech A, Adamczuk A. 2021. Fatty acids profile, cholesterol level and quality of table eggs from hens fed with the addition of linseed and soybean oil. *Food Chem*. 334:127612. eng. doi:10.1016/j.foodchem.2020.127612.
- Buitendach GC, Witt FH de, Hugo A, van der Merwe HJ, Fair MD. 2014. Effect of dietary fatty acid saturation on egg production at end-of-lay. *SA J. An. Sci.* 43(5):131. doi:10.4314/sajas.v43i5.24.
- Castellanos L, Rodriguez M. 2015. El efecto de omega 3 en la salud humana y consideraciones en la ingesta. *Rev. chil. nutr.* 42(1):90–95. doi:10.4067/s0717-75182015000100012.
- Chan-Colli M, Carvajal-Hernández M, Segura-Correa J, Sarmiento-Franco L, Santos-Ricalde R. 2007. Effect of dietary energy and sulphur amino acids level on egg production traits in the tropics. *Journal of Animal en Veterinary Advances*; [consultado el 14 de jun. de 2023]. 6(10). <https://docsdrive.com/pdfs/medwelljournals/javaa/2007/1209-1213.pdf>.
- Delgado-Pando G, Cofrades S, Ruiz-Capillas C, Jiménez-Colmenero F. 2010. Healthier lipid combination as functional ingredient influencing sensory and technological properties of low-fat frankfurters. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 112(8):859–870. doi:10.1002/ejlt.201000076.
- Du M, Ahn DU, Sell JL. 2000. Effects of dietary conjugated linoleic acid and linoleic:linolenic acid ratio on polyunsaturated fatty acid status in laying hens. *Poult Sci.* 79(12):1749–1756. eng. doi:10.1093/ps/79.12.1749.
- [FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2013. Revisión del desarrollo avícola. s. e.: FAO. ISBN: 978-92-5-308067-0; [consultado el 3 de feb. de 2023]. <https://www.fao.org/3/i3531s/i3531s.pdf>.

- [FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2022. Producción y productos avícolas. s. e.: FAO; [consultado el 20 de jul. de 2023]. <https://www.fao.org/poultry-production-products/production/es/>.
- Gerber N. 2006. Factors affecting egg quality in the commercial laying hen: a review. Egg Producers Federation of New Zealand; [consultado el 14 de jun. de 2023]. https://sau.edu.bd/uploads/pdf/dept/class_lecture/24_2020-08-11_5f32fa5862a6e.pdf.
- Grobas S, Méndez J, Lázaro R, Blas C de, Mateo GG. 2001. Influence of source and percentage of fat added to diet on performance and fatty acid composition of egg yolks of two strains of laying hens. *Poult Sci.* 80(8):1171–1179. eng. doi:10.1093/ps/80.8.1171.
- Guenter W, Bragg DB, Kondra PA. 1971. Effect of dietary linoleic acid on fatty acid composition of egg yolk, liver and adipose tissue. *Poult Sci.* 50(3):845–850. eng. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579119538032>. doi:10.3382/ps.0500845.
- Imamura F, Fretts A, Marklund M, Ardisson A, Yang W, Lankinen M, Qureshi W, Helmer C, Chen T, Wong K, et al. 2018. Fatty acid biomarkers of dairy fat consumption and incidence of type 2 diabetes: A pooled analysis of prospective cohort studies. *PLoS Med.* 15(10):e1002670. eng. doi:10.1371/journal.pmed.1002670.
- Johnson PA, Stephens CS, Giles JR. 2015. The domestic chicken: Causes and consequences of an egg a day. *Poult Sci.* 94(4):816–820. eng. doi:10.3382/ps/peu083.
- Kapoor R, Huang Y-S. 2006. Gamma linolenic acid: an antiinflammatory omega-6 fatty acid. *Curr Pharm Biotechnol.* 7(6):531–534. eng. doi:10.2174/138920106779116874.
- Kralik G, Škrčić Z, Suchý P, Straková E, Gajčević Z. 2008. Feeding Fish Oil and Linseed Oil to Laying Hens to Increase the n-3 PUFA in Egg Yolk. *Acta Vet. Brno.* 77(4):561–568. doi:10.2754/avb200877040561.
- Lin DS, Connor WE, Anderson GJ. 1991. The incorporation of n-3 and n-6 essential fatty acids into the chick embryo from egg yolks having vastly different fatty acid compositions. *Pediatr Res.* 29(6):601–605. eng. doi:10.1203/00006450-199106010-00015.
- Martínez Y, Díaz Soliz N, 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. *Europ.Poult.Sci.* 85. doi:10.1399/eps.2021.329.
- Mejía Vásquez LY. 2016. Diseño de una guía para la elaboración de alimentos enriquecidos o fortificados con vitaminas y minerales [Trabajo de grado]. Colombia: Corporación Universitaria Lasallista; [consultado el 20 de jul. de 2023]. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/1694/1/Diseno_guia_elaboracion_alimentos_enriquecidos.pdf.
- Narushin VG, Romanov MN, Griffin DK. 2021. A novel Egg Quality Index as an alternative to Haugh unit score. *Journal of Food Engineering.* 289:110176. doi:10.1016/j.jfoodeng.2020.110176.
- Parkinson G, Roberts J, Horn R. 2016. Pullet and layer flock uniformity: an epidemiological industry-based approach to improve feed efficiency. *Australian Eggs*; [consultado el 16 de jun. de 2023]. <https://www.australianeggs.org.au/what-we-do/leading-research/pullet-and-layer-flock-uniformity-an-epidemiological-industry-based-approach-to-improve-feed-efficiency>.
- Rizzi C. 2021. Albumen Quality of Fresh and Stored Table Eggs: Hen Genotype as a Further Chance for Consumer Choice. *Animals (Basel).* 11(1). eng. doi:10.3390/ani11010135.

- Roberts J. 2005. Egg quality guidelines for the Australian egg industry [Tesis]. Australia: University of New England, Animal Science (Physiology). 5 p; [consultado el 14 de jun. de 2023]. <https://www.cabi.org/Uploads/animal-science/worlds-poultry-science-association/WPSA-the-netherlands-2005/57.pdf>.
- Scott TA, Silversides FG. 2000. The effect of storage and strain of hen on egg quality. *Poult Sci.* 79(12):1725–1729. eng. doi:10.1093/ps/79.12.1725.
- ŠEVČÍKOVÁ S. 2003. High quality protein-eggs. s. e.: [sin editorial]. Czech. <http://www.lrrd.org/lrrd31/9/jhagan31145.html>.
- Shafey TM, Dingle JG, McDonald MW. 1992. Comparison between wheat, triticale, rye, soyabean oil and strain of laying bird on the production, and cholesterol and fatty acid contents of eggs. *Br Poult Sci.* 33(2):339–346. eng. doi:10.1080/00071669208417472.
- Simeneh G. 2019. Review on the effect of feed and feeding on chicken performance. *Animal Husbandry, Dairy and Veterinary Science.* 3(4). <https://www.australianeggs.org.au/assets/dms-documents/Final-Report-1UN112A.pdf>. doi:10.15761/AHDVS.1000171.
- Siri-Tarino PW, Sun Q, Hu FB, Krauss RM. 2010. Saturated fatty acids and risk of coronary heart disease: modulation by replacement nutrients. *Curr Atheroscler Rep.* 12(6):384–390. eng. doi:10.1007/s11883-010-0131-6.
- Wijendran V, Lawrence P, Diau G-Y, Boehm G, Nathanielsz PW, Brenna JT. 2002. Significant utilization of dietary arachidonic acid is for brain adrenic acid in baboon neonates. *J Lipid Res.* 43(5):762–767. eng.
- Wood JD, Richardson RI, Nute GR, Fisher AV, Campo MM, Kasapidou E, Sheard PR, Enser M. 2004. Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Science.* 66(1):21–32. eng. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309174003000226>. doi:10.1016/S0309-1740(03)00022-6.
- Yalcin H, Unal MK. 2010. The enrichment of hen eggs with omega-3 fatty acids. *J Med Food.* 13(3):610–614. eng. doi:10.1089/jmf.2008.0024.

Anexos

Anexo A

Gallinas ponedoras Dekalb White (40 – 50 semanas) utilizadas en el experimento, EAP Zamorano.



Anexo B

Laboratorio de calidad de huevo en el Centro de Enseñanza Avícola, EAP Zamorano



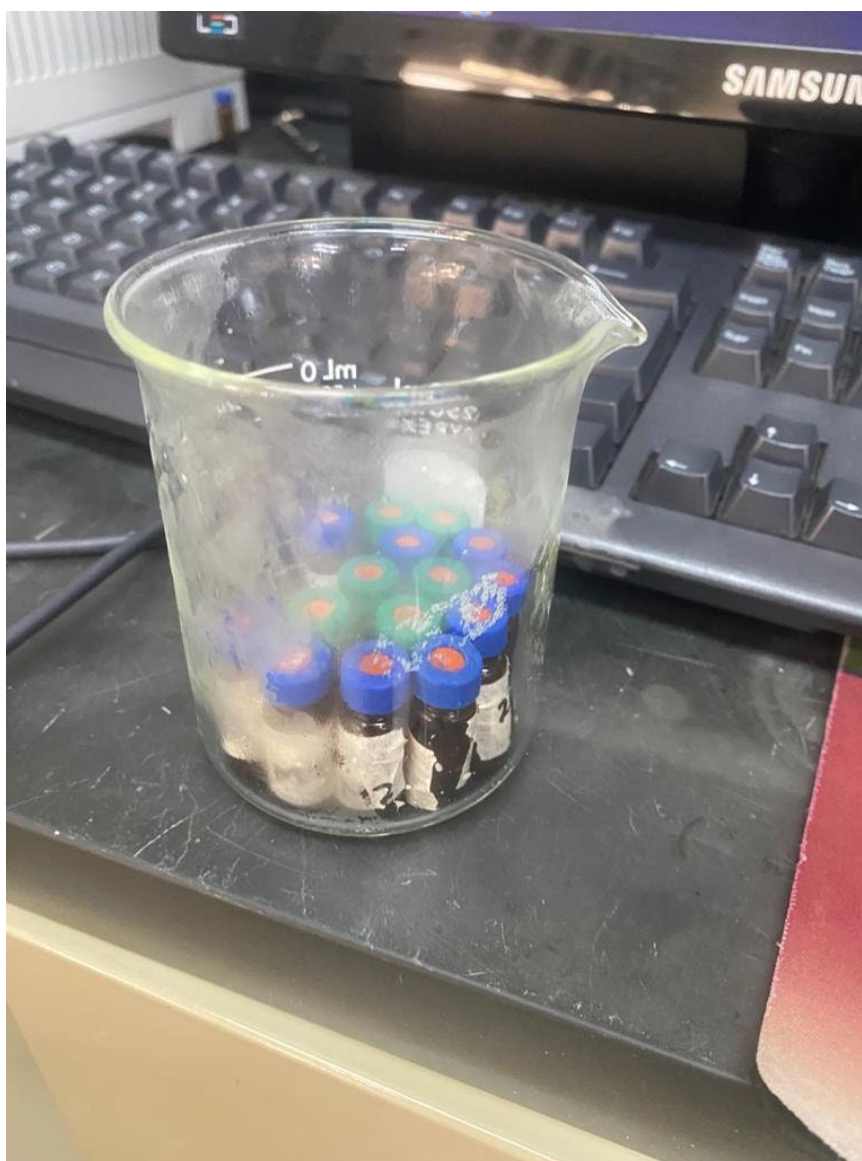
Anexo C

Análisis de color de yema en Centro de Investigación y Enseñanza Avícola, EAP Zamorano.



Anexo D

Preparación de viales en Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ)



Anexo E

Máquina Soxtec™ CU 8000 utilizada en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ).



Anexo F

Cromatógrafo de gases Agilent 7890A utilizado en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ).

