

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



Proyecto Especial de Graduación

**Efecto de dietas fórmulas con base a la proteína ideal
en la productividad, calidad del huevo e impacto ambiental
de gallinas ponedoras**

Estudiantes

Juan Ernesto Gámez Aguilar

José Tomas Gutiérrez Rodríguez

Asesores

Yordan Martínez Aguilar, D.Sc.

Patricio E. Paz, Ph.D.

Luis Peña-Lévano, Ph.D.

Honduras, julio 2021

Autoridades

TANYA MULLER GARCIA

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.....	4
Índice de Figura.....	5
Resumen	6
Abstract.....	7
Introducción.....	8
Materiales y Métodos.....	10
Desempeño de Producción.....	11
Calidad del Huevo	12
Análisis Estadísticos	13
Resultados y Discusión.....	14
Conclusiones	22
Recomendaciones.....	23
Referencias.....	24

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Ingredientes y aportes nutricionales de las dietas de gallinas ponedoras Hy-Line® Brown.	11
Cuadro 2 Efecto de la reducción de la proteína en el desempeño productivo de gallinas ponedoras (semanas 60-70).....	14
Cuadro 3 Efecto de la reducción de proteína en la calidad interna y externa del huevo de gallinas ponedoras (semanas 65 y 70).....	17
Cuadro 4 Efecto de la reducción de la proteína en el impacto ambiental, generado por el contenido químico en las excretas de las gallinas ponedoras (semanas 60-70).....	20

Índice de Figura

Figura 1 Cambio en conversión masal por tratamiento durante semanas 1 a 10.....	16
---	----

Resumen

La implementación del concepto de “proteína ideal” ha cambiado el esquema nutritivo y metabólico en las gallinas ponedoras, mediante el equilibrio entre proteína y aminoácidos cristalinos. Este experimento evaluó el efecto de dietas fórmulas con base a la proteína ideal en la productividad, calidad del huevo e impacto ambiental de gallinas ponedoras. Un total de 180 aves ponedoras de la línea genética Hy-Line® Brown de 60 semanas de edad se distribuyeron aleatoriamente durante 10 semanas en cuatro tratamientos, nueve repeticiones por tratamiento y cinco gallinas por repetición. Los tratamientos consistieron en una dieta control formulada según los requerimientos de la línea genética (T1); la reducción de 0.5% (T2), 1% (T3) y 1.5% de proteína cruda isoaminoacídica (PCI) (T4) e incremento de los aminoácidos sintéticos tales como metionina, lisina, treonina, valina e isoleucina. El T2 (-0.5% de PCI) tuvo una similar respuesta para la intensidad de puesta, conversión masal, altura del albumen y unidad Haugh que el tratamiento control, aunque el T3 (-1% de PCI) y T4 (-1.5% de PCI) indicaron los peores resultados, el consumo de alimento, peso huevo y los otros indicadores de calidad externa e interna no cambiaron en los tratamientos experimentales. También, la reducción de 0.5 y 1.5% de PCI redujo la excreción de N y P, respectivamente. La dieta con una reducción de 0.5% de PCI y el incremento de la suplementación de lisina, metionina, treonina, valina e isoleucina tuvo una respuesta similar que el control para la productividad y calidad del huevo, también redujo la excreción de N.

Palabras clave: Gallinas ponedoras, impacto ambiental, producción de huevo, proteína ideal.

Abstract

The “ideal protein” concept has changed the nutritional and metabolic scheme in laying hens through the balance between protein and crystalline amino acids. This experiment evaluated the effect of ideal protein-based formula diets on productivity, egg quality, and the environmental impact of laying hens. A total of 180 60-week-old laying hens of the Hy-Line® Brown genetic line were randomly distributed over 10 weeks in four treatments, nine repetitions per treatment, and five hens per repetition. The treatments consisted of a control diet formulated according to the genetic line’s requirements (T1); the reduction of 0.5% (T2), 1% (T3), and 1.5% of isoaminoacidic crude protein (ICP)(T4) and an increase of the synthetic amino acids such as methionine, lysine, threonine, valine, and isoleucine. T2 (-0.5% ICP) had a similar response to the control treatment for laying intensity, mass conversion, albumen height, and Haugh unit. Even though T3 (-1% ICP) and T4 (-1.5% ICP) indicated the worst results, the feed consumption, egg weight, and other external and internal quality indicators did not change in the experimental treatments. Likewise, the reduction of 0.5% (T2) and 1.5% (T4) of ICP reduced the excretion of N and P, respectively. The diet with a 0.5% reduction in ICP and the increase in lysine, methionine, threonine, valine, and isoleucine supplementation had a similar response as the control for productivity and egg quality. Excretion of N was also reduced.

Keywords: Egg production, environmental impact, ideal protein, laying hens.

Introducción

El continuo crecimiento en la productividad avícola es resultado del avance científico y tecnológico, con énfasis a la mejora en nutrición. Uno de los productos más importantes de la industria es el huevo. En un período de tres décadas (1990 - 2020), la producción de huevo ha incrementado sustancialmente para satisfacer el constante incremento en consumo y demanda per cápita (Akbari Moghaddam Kakhki et al. 2019). El aumento mundial en su demanda es principalmente debido a ser un ingrediente básico en la alimentación: posee un alto contenido de proteína, aminoácidos esenciales, ácidos grasos y vitaminas. La promoción del consumo de huevo en América Latina ha provocado una tasa de crecimiento del 3.4% anual en promedio, siendo más alta que el promedio europeo, debido a las rigurosas normativas de salud y bienestar animal en Europa según la comparativa en sistemas de producción (Leinonen et al. 2014). No obstante, la mayor parte de los gastos en la producción de huevo es la alimentación de las aves ponedoras, representando entre el 70 y 80% de los costos totales. A pesar de ello, el precio relativo a su valor nutricional es menor comparado a diferentes carnes, lo que explica el aumento en consumo de huevo durante épocas de recesión. El balance nutricional de las aves ponedoras es restringido por el aminoácido presente en menor proporción. Sin embargo, es necesario considerar dietas sostenibles para reducir impacto ambiental. Componentes volátiles como nitrógeno (N) – que provoca desagradables olores – y fósforo (P) son liberados en las excretas de las aves y pueden causar eutrofización – exceso de nutrientes y contaminación del ecosistema acuático, lo que provoca mortalidad de la fauna acuática (Conley et al. 2009). Por tanto, cuanto mejor sea el ajuste de los aportes nutricionales a las necesidades reales de las aves, menor será la cantidad de nutrientes excretados y por ende la polución provocada por las deyecciones. Así, la determinación y corrección de los aminoácidos base y contribuidores del comportamiento animal como en el caso de la variación del triptófano pueden representar un cambio óptimo en el rendimiento alimenticio y productivo en las aves (Sarsour et al. 2021)

Recientemente, suplementos proteicos están siendo usados como catalizadores bioquímicos y para satisfacer necesidades energéticas. Los alimentos proteicos completos contienen todos los aminoácidos esenciales necesarios para un adecuado crecimiento, mantenimiento y restauración del buen estado de salud del organismo (Baum et al. 2016). Entre estos productos, surge el origen del concepto “proteína ideal” – una mezcla proteica derivada de aminoácidos esenciales digeribles y que provee el balance óptimo de aminoácidos, con el fin de satisfacer simultáneamente los requisitos de todos los aminoácidos para la síntesis máxima de proteína corporal, reduciendo así la excreción de nitrógeno (Lozano Chávez 2018).

En la actualidad, la industria de producción pecuaria busca esquemas de alimentación para aves ponedoras que posean un balance entre proteína dietética y suplementación de aminoácidos sintéticos en las dietas, ya que están fuertemente ligados en la reducción de los niveles de emisión de nitrógeno y fósforo al ambiente (Lu et al. 2017). Tomando en cuenta la situación actual de la pandemia – la cual ha limitado el ingreso en muchos hogares –, mejorar el rendimiento y reducir los costos de producción del huevo juegan un papel importante en la supervivencia de muchos países latinoamericanos. Este estudio tuvo como objetivo: Evaluar el efecto de dietas formuladas con base a la proteína ideal en la productividad, calidad del huevo e impacto ambiental de gallinas ponedoras.

Materiales y Métodos

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. El centro experimental está ubicado a una altura de 800 msnm y una temperatura promedio de 26 °C.

Se utilizaron un total de 180 gallinas ponedoras de la línea genética Hy-Line Brown® de 60 semanas de edad. Se utilizó un sistema de producción intensivo dentro de un galpón comercial de 400 m² con jaulas de 1 m². El galpón contó con ventiladores de techo y un sistema de iluminación artificial. El agua se ofreció *ad-libitum* en un bebedero de niple por jaula y el consumo de alimento se restringió a 110 g/ave para la dieta control. Se suministraron 16 horas de luz cada día y no se empleó atención veterinaria terapéutica durante la etapa experimental. Se utilizaron 15 días de adaptación a las nuevas dietas.

Las aves se distribuyeron siguiendo un diseño completamente al azar, durante 10 semanas, con cuatro tratamientos, nueve repeticiones por tratamiento y cinco aves por jaula para un total de 36 unidades experimentales. Los tratamientos consistieron en dietas con diferentes niveles de proteína cruda isoaminoacídica (PCI): una dieta control (T1); reducción de 0.5% de PCI (T2); reducción de 1.0% de PCI (T3); y reducción de 1.5% de PCI (T4). El Cuadro 1 muestra los detalles nutricionales de cada tratamiento.

Cuadro 1

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

Ingredientes %	Control	0.5% PCI	1% PCI	1.5% PCI
CA g/d/ave	109	109	109	109
Harina de maíz	70.98	73.23	75.26	77.29
Harina de soya	13.55	11.53	9.81	8.07
Aceite de palma	1.73	1.18	0.75	0.33
Premezcla Vit+Min ¹	0.20	0.20	0.20	0.20
Sal común	0.35	0.35	0.35	0.35
Colina	0.05	0.05	0.05	0.05
Biofos®	1.15	1.18	1.18	1.18
Carbonato de calcio fino	3.99	3.99	3.99	3.99
Carbonato de calcio grueso	7.41	7.41	7.42	7.42
Mycofix plus 5.0®	0.12	0.12	0.12	0.12
DL-metionina	0.20	0.22	0.22	0.24
L-lisina	0.22	0.26	0.29	0.33
L-treonina	0.05	0.07	0.09	0.11
L-valina	0.00	0.08	0.11	0.13
L-Isoleucina	0.00	0.13	0.16	0.19
Costo USD/t	351.35	362.75	362.92	363.73
Aportes				
EM, kcal/kg	2800	2800	2800	2800
PC, %	14.22	13.72	13.22	12.72
P disponible, %	0.35	0.35	0.35	0.35
Ca, %	4.40	4.40	4.40	4.40
Lisina, %	0.70	0.70	0.70	0.70
Met + Cyst, %	0.63	0.63	0.63	0.63
Treonina, %	0.49	0.49	0.49	0.49
Triptófano, %	0.12	0.11	0.10	0.09
Valina, %	0.56	0.61	0.61	0.61
Isoleucina, %	0.47	0.56	0.56	0.56

Nota. CA: consumo de alimento; CP: control positivo; PCI: proteína cruda e isoaminoacídica; USD: Dólares americanos; t: toneladas; PC:

proteína cruda

Desempeño de Producción

Peso del huevo, consumo de alimento, intensidad de puesta y conversión masal fueron medidas todas las semanas del estudio.

Peso promedio del huevo (g)

Se pesaron 30 huevos/tratamiento entre las 8:30 am a las 9:30 am y se calculó el peso promedio por tratamiento.

Consumo de alimento (CA, g)

Se determinó por medio del método de oferta y rechazo, el cual mide la administración de alimentos en un periodo determinado.

Intensidad de puesta (%)

Se consideró mediante la ecuación 1 la producción total de huevos por semana y se asumió como 100% un huevo por día / ave alojada:

$$IP = \frac{GP}{PH} \quad (1)$$

Donde:

IP es intensidad de puesta.

GP es gallinas en postura.

PH es producción de huevo.

Conversión masal (CM, kg/kg)

Se calculó mediante la ecuación 2, teniendo en cuenta el alimento consumido (en g/ave), peso de huevo promedio y el número de huevos puestos:

$$CM = \frac{\text{(Consumo de alimento por ave)}}{\text{Intensidad de Puesta} \times \text{(Peso del huevo)}} \quad (2)$$

Calidad del Huevo

En la quinta y décima semana del experimento se recolectaron 30 huevos por tratamiento para la calidad externa e interna del huevo en el Laboratorio de Calidad del Huevo de Zamorano. Se determinaron los siguientes parámetros:

Peso del huevo (g)

Se tomaron en ambas semanas en una balanza digital OHAUS®.

Altura del albumen (mm)

Se utilizó un micrómetro para medición de altura de albumen sobre un sistema “Quality Cost Delivery” (QCD).

Unidad Haugh

Para este cálculo se utilizó el sistema QCD conectado al software informático “Eggware”.

Color de yema

Se midió usando el colorímetro “Quality Control Cycle” (QCC) el cual está basado en la gama del abanico “Dutch State Mines” (DSM).

Resistencia a ruptura (gF/mm²)

Se usó el analizador de resistencia “Quality Control – Shell Strength and Packaging Analyser” (QC-SPA).

Grosor de la cáscara (mm)

Se midió mediante un micrómetro digital, parte del sistema QC-SPA, utilizando pedazos de la cáscara del polo medio del huevo.

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.

Resultados y Discusión

El Cuadro 2 muestra el efecto de la reducción de la proteína en el desempeño productivo de gallinas ponedoras. Las variables consumo de alimento y peso del huevo no presentaron diferencias en ninguno de los tratamientos ($P > 0.05$). Por su parte, la intensidad de puesta fue mayor ($P \leq 0.05$) en la dieta control y T2 (-0.5% PCI), disminuyendo conforme al incremento en la reducción del nivel de PC. La conversión masal se redujo en el grupo control (T1) y T2 (-0.5% PCI), mientras que los otros dos restantes (T3 y T4) tuvieron un mayor índice de conversión alimenticia a medida que aumentó la reducción de PC ($P \leq 0.05$).

Cuadro 2

Efecto de la reducción de la proteína en el desempeño productivo de gallinas ponedoras (semanas 60-70).

Tratamientos	Indicadores productivos			
	IP (%)	CA(g)	PH(g)	CM (kg/kg)
Control	84.12 ^a	116.27	62.16	2.34 ^c
0.5% PCI	84.23 ^a	116.14	61.61	2.37 ^c
1% PCI	70.94 ^b	116.07	61.62	2.85 ^b
1.5% PCI	53.14 ^c	116.51	61.76	3.62 ^a
EE±	1.18	0.81	0.24	0.69
Valor P	<0.001	0.88	0.81	<0.001

Nota. PCI: proteína cruda; IP: intensidad de puesta; CA: consumo de alimento; PH: peso del huevo; CM: conversión masal; EE: Error estándar

Diferentes superíndices indican diferencia significativa entre medias. Superíndices con la misma letra representan una media similar.

El Índice de puesta (IP), parámetro que mide la eficiencia productiva también se vio afectado ($P \leq 0.01$) por reducciones graduales mayores a 0.5% de PC en los diferentes tratamientos (T3 y T4). El valor estándar esperado para este parámetro es de 74.3, según los análisis realizados por Duman et al. (2016). En los resultados de este estudio se observa que los tratamientos control y T2 (-0.5% PCI) obtuvieron valores superiores al valor estándar, contrastando los otros dos (con reducciones mayores a 0.5% de PC) que mostraron un efecto inferior al valor referencial.

Estos resultados coinciden con Li et al. (2013), donde se muestra que el nivel de inclusión de PC en las dietas para gallinas ponedoras no debe ser menor a 14% ya que a una menor concentración

de proteína, las gallinas no suplen los requerimientos necesarios de proteína corporal para una constante formación de huevo y por ende un mejor índice de postura.

Los parámetros CA y PH no se vieron afectados ($P > 0.05$) por la reducción gradual de PC en las dietas al no ser dependientes únicamente del contenido de proteína. Estos resultados concuerdan con Saleh et al. (2021), donde explican cómo pequeñas variaciones en el contenido de proteína en las dietas no representa cambios significativos en el aumento de peso corporal, la ingesta de alimento, el peso del huevo y la masa del huevo.

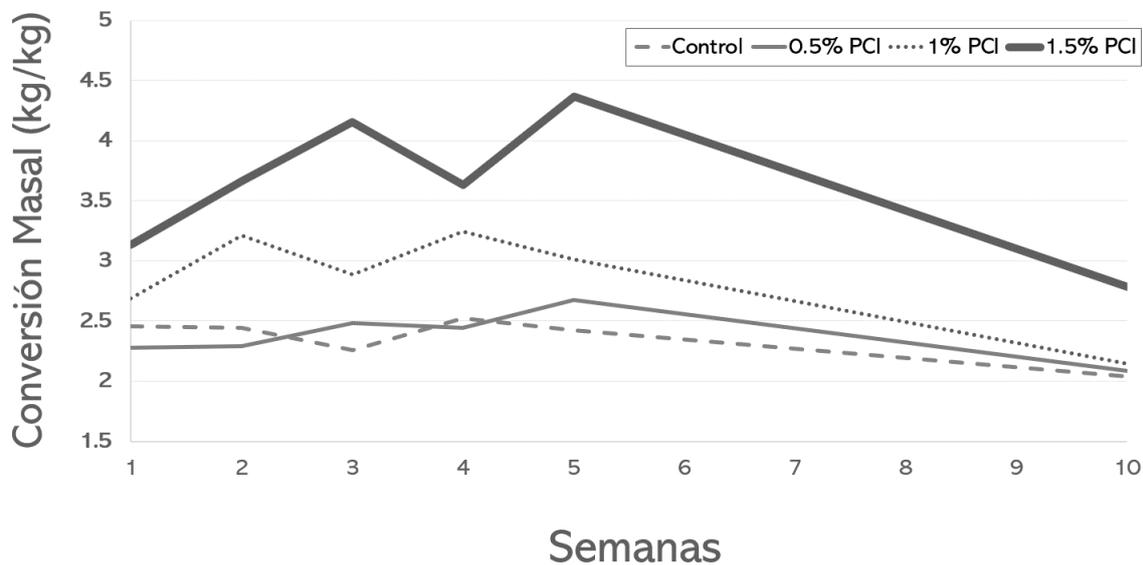
De acuerdo a estas variables se asume que una variación en el contenido de PC en las dietas de gallinas ponedoras no influye directamente en el peso del huevo, lo cual también es respaldado por el estudio de Sokołowicz et al. (2018), donde afirman que el peso del huevo es afectado principalmente por la edad de las gallinas y su genética, las condiciones ambientales, los medicamentos, el manejo y la alimentación (específicamente por el contenido de grasa y aminoácidos como la metionina y la lisina).

El parámetro de conversión masal (CM) en este estudio se evaluó bajo los conceptos de Clark et al. (2019) donde explica que en la producción avícola, un valor bajo de CM es preferido – ya que es indicador de una buena eficiencia productiva en términos de costo-beneficio. Los tratamientos control y T2 (-0.5% de PCI) obtuvieron la mejor conversión masal de los cuatro tratamientos evaluados en este estudio. Por lo que, mantener solo una reducción del 0.5% de PCI (T2) puede aún mantener la misma productividad en las gallinas ponedoras en comparación a la dieta control.

Si se compara el desempeño a lo largo de las diez semanas (Figura 1), se puede observar que el T2 (-0.5% de PCI) y control mantuvieron una conversión masal similar.

Figura 1

Cambio en conversión masal por tratamiento durante semanas 1 a 10.



Estos resultados son respaldados por Van Emous et al. (2015) quienes compararon niveles de 12.8% hasta 16.6% de PC y Ratriyanto et al. (2017) en las que ambos sostienen que reducir abruptamente el nivel de PC en los piensos provoca un efecto negativo en la conversión alimenticia (o desempeño productivo) de las aves.

El Cuadro 3 muestra el efecto de la reducción de proteína en la calidad interna y externa del huevo de gallinas ponedoras. Las variables peso del huevo, resistencia de ruptura, color de yema y grosor de cáscara no presentaron diferencias significativas en ninguno de los tratamientos ($P > 0.05$). Por su parte la altura de la albúmina y las Unidades Haugh obtuvieron mayores resultados ($P < 0.05$) en la dieta control y T2 (-0.5% PCI), y disminuyó conforme se incrementó la reducción en el nivel de PC.

Cuadro 3

Efecto de la reducción de proteína en la calidad interna y externa del huevo de gallinas ponedoras (semanas 65 y 70).

Tratamientos	Indicadores productivos					
	PH (g)	AA (mm)	UH	RR	CY	GC
Control	61.81	11.52 ^a	105.01 ^a	4570	2.55	0.379
0.5 PCI	61.75	11.13 ^{ab}	103.53 ^{ab}	4345	2.75	0.376
1 PCI	63.40	10.93 ^b	102.21 ^b	4491	2.53	0.357
1.5 PCI	62.51	10.92 ^b	102.42 ^b	4724	2.53	0.375
EE±	0.448	0.088	0.374	80.36	0.129	0.003
Valor P	0.529	0.048	0.030	0.953	0.913	0.079

Nota. PCI: proteína cruda e isoaminoacídica; PH: peso del huevo; AA: altura del albumen; UH: unidad de Haugh; RR: resistencia a la ruptura;

CY: color de yema; GC: grosor de cáscara; EE: Error estándar

Las dietas alimenticias para gallinas ponedoras poseen un contenido de proteína cruda variable, la mayoría con un bajo nivel de proteína cruda, ajustado al perfil de aminoácidos (Figueiredo et al. 2012). Para el parámetro de peso del huevo (en términos de calidad) se puede observar que entre tratamientos no hubo diferencias ($P > 0.05$), mostrando valores uniformes. Esto se debe a que el contenido de PC no es un factor influyente en este parámetro, así lo sustenta el estudio de Kumar Patra et al. (2016), quienes indican que el peso del huevo presenta un notable incremento debido a diversos factores que mejoran la digestibilidad de los nutrientes en las aves, lo que refiere principalmente a enzimas dietéticas, aminoácidos estructurales y el contenido de lípidos.

En cuanto a la altura del albumen, en este estudio podemos observar que a mayor nivel de PC en las dietas la altura de la albumen tiene un valor superior. Por lo tanto, se asume que reducir el porcentaje de PC influye negativamente en este parámetro. Estos resultados son respaldados por Rath et al. (2015) en el cual mencionan que la altura del albumen se relaciona con la calidad proteica y su conformación en el espacio interno del cascarón, por lo que es uno de los principales índices de frescura del huevo.

Ji et al. (2014) mencionan que alimentar a las gallinas ponedoras con una dieta baja en proteínas no influye directamente en los parámetros de calidad interna del huevo al no ser

dependientes únicamente del contenido proteico en la alimentación. Para las unidades Haugh (UH), se observa que los resultados con mayor diferencia fueron entre las dietas control y 0.5% PCI, con una diferencia de 1.48. Estos resultados se deben a que las UH dependen del factor de la altura de la albumina por lo que se espera un comportamiento similar en estos dos parámetros. Además Menezes et al. (2012) mencionan que las UH representan una medida precisa para determinar la calidad interna del huevo, particularmente la calidad proteica, donde valores menores a 50 para este parámetro son inaceptables para el consumidor, valores mayores a 70 son considerados aceptables y superiores a 90 representan una calidad del huevo excelente. En este estudio, los cuatro tratamientos tuvieron un valor mayor a 100, calificando la calidad del huevo como excelente.

La resistencia a la ruptura es la fuerza mínima requerida para provocar la ruptura de la cáscara. Según Albán Merino y Cevallos Gordón (2018) expresan que una muy buena calidad de cáscara refleja resistencia a la ruptura que fluctúa entre 3,600 y 3,900 gF/mm². Los resultados obtenidos de todos los tratamientos fueron mayores al valor estándar, lo que indica que la reducción en el porcentaje de proteína cruda en las dietas no afecta negativamente la calidad de la cáscara del huevo.

Toomer et al. (2019) explican que el color de yema consiste en una gama de colores que van desde el amarillo claro al rojo anaranjado, con un índice de color de 1 a 15 para distinguir la intensidad del color de yema. Se puede observar en los resultados que se obtuvo un valor mínimo de 2.53 y un valor máximo de 2.75 para los diferentes tratamientos. Rossi et al. (2015) explican que el color de yema se debe principalmente a los pigmentos como antocianinas que se le aportan al ave a través de la alimentación. En este estudio, se encuentran valores bajos debido a que las dietas fueron formuladas con reducciones en las fuentes de proteína como la soya que son la principal fuente de pigmentos que influyen en el color de la yema.

Se pueden observar los resultados del grosor de cáscara obtenidos para cada tratamiento. Esta variable obtuvo un mejor resultado en el tratamiento control y 0.5% PC, sin embargo, no hubo diferencias entre tratamientos ($P > 0.05$), lo que indica que la proteína cruda no está asociada con la formación de la cáscara. Estos resultados son respaldados por Mousavi et al. (2013) donde mencionan que la parte exterior de la cáscara del huevo esta cubierta por una cutícula sólida cuya conformación se atribuye a fuentes de calcio, fósforo y magnesio.

El comportamiento irregular obtenido sobre los efectos de los diferentes parámetros de calidad del huevo en este estudio, demuestran que puede haber influencia de otros factores externos no evaluados en este experimento que contribuyen a la calidad. Esto concuerda con los parámetros propuestos en la guía de manejo comercial de Hy-Line® (2018) donde expresa que el tamaño del huevo es afectado por el consumo energético y las propiedades nutricionales de las dietas suministradas.

No obstante, en este estudio una reducción drástica de proteína cruda en las dietas en gallinas ponedoras afectó negativamente ciertos parámetros productivos de calidad del huevo. Estudios opuestos respaldan esta afirmación, ya que Ji et al. (2014) menciona que los ajustes moderados de proteína cruda y aminoácidos bajo una proporción constante en las dietas pueden dar como resultado un nivel óptimo de proteína ideal sin afectar la calidad productiva de las gallinas ponedoras.

El Cuadro 4 muestra el efecto de la reducción de la proteína ideal en el impacto ambiental generado por las gallinas ponedoras. Las variables nitrógeno (N) y fósforo (P) presentaron diferencias entre los tratamientos ($P \leq 0.05$). Dentro de los cuatro tratamiento evaluados el nitrógeno mostró el mejor resultado en el T2 (-0.5% PCI). En cuanto al contenido de fósforo, el T4 (-1.5% PCI) obtuvo un mejor resultado en comparación al resto de los tratamientos.

Cuadro 4

Efecto de la reducción de la proteína en el impacto ambiental, generado por el contenido químico en las excretas de las gallinas ponedoras (semanas 60-70).

Tratamientos	Impacto Ambiental		
	%H	N	P
Control	71.70 ^a	5.09 ^{ab}	1.82 ^a
0.5 PCI	75.50 ^b	3.37 ^c	1.86 ^a
1 PCI	77.00 ^{bc}	5.36 ^a	1.94 ^a
1.5 PCI	76.90 ^c	4.74 ^b	1.33 ^b
EE±	0.6475	0.2368	0.0833
Valor P	<0.01	<0.001	0.01

Nota. PCI: proteína cruda e isoaminoacídica; %H: porcentaje de humedad; N: nitrógeno; P: fósforo; EE±: Error estándar

El porcentaje de humedad se refiere a la porción constituida por agua que forma parte en la estructura o contenido total de las heces. Para este parámetro los tratamientos con menor reducción en el contenido de proteína presentan valores con un bajo contenido de humedad, lo cual es benéfico ya que entre menos líquida sean las excretas, se obtendrá una producción mas limpia y los índices de digestibilidad serán óptimos. Según los resultados en el estudio los parámetros de %H, N y P muestran variaciones con la reducción de PC en las dietas, dichos resultados son respaldados por Rivera Aguirre (2020) ya que en su estudio expresa que la humedad en las excretas tiene una interacción positiva y fundamental con las pérdidas de N y P, así como con la volatilización de NH₃.

En cuanto a nitrógeno, a medida que se reduce el contenido de PC en los tratamientos, el contenido de N muestra reducciones irregulares, lo que indica que reducir o aumentar el contenido de proteína en las dietas afecta la absorción de N y por ende su contenido en las excretas. Este resultado es sustentado con la investigación de Robbins et al. (2005) donde explican cómo el nitrógeno ingerido en los alimentos es esencial para la síntesis de aminoácidos y para la creación de bases nitrogenadas de los ácidos nucleicos, lo cual influye en los procesos metabólicos del organismo. Esto quiere decir que al existir una menor cantidad de proteína disponible, el organismo se ve obligado a sintetizar con procesos anabólicos nuevas moléculas proteicas y para esto utiliza aminoácidos estructurales, energía y en este caso nitrógeno no proteico. Selle et al. (2020) explican que el N es

utilizado en los procesos anabólicos de construcción de aminoácidos ligados al metabolismo de las aves. Esto conlleva un mejor aprovechamiento del nitrógeno no proteico – principal fuente de nitrógeno residual en las heces de las gallinas ponedoras.

Según Columbus et al. (2014), los procesos de reconstitución anabólica están asociados a un mayor esfuerzo hecho por el organismo, y un mayor consumo de energía, ya que el nitrógeno no proteico es un compuesto de absorción limitada pues solo se desarrolla en el intestino grueso. Como consecuencia, al incrementar estos procesos debido a la reducción de PC, el consumo de energía se ve reflejado en los niveles de fósforo (P) en los distintos tratamientos ($P \leq 0.05$).

El fósforo es uno de los nutrientes con mayor importancia y poseedor de una amplia variedad de funciones en el organismo animal y vegetal, cuyo estudio ha sido constantemente desarrollado desde hace muchos años. Según Patiño et al. (2012) uno de los principales retos de la producción animal es controlar la emisión de fósforo que influyen negativamente en el impacto ambiental. En este mismo estudio se menciona que el nivel óptimo de concentración de P en las excretas es de 1.75 g/d. Respecto al contenido de P en los residuos fecales de este experimento, el T4 (-1.5% de PCI) mostró un nivel inferior al nivel óptimo recomendado por la literatura y en comparación con los demás tratamientos. Dicho resultado se debe a que con una mayor reducción en el contenido de PC, este se encuentra en menor disponibilidad en comparación a los demás tratamientos, lo cual obliga al organismo a sintetizarla generando una mayor demanda de P para sustentar estos procesos metabólicos. Así también lo sustenta Ren et al. (2020) en su estudio sobre la absorción y restricción del fósforo en las dietas para gallinas ponedoras.

La importancia de la reducción de N y P en las excretas resalta en las investigaciones de Lewis y Southern (2001), donde informaron que por cada unidad porcentual que se reduzca en la dieta, las pérdidas de nitrógeno en las heces se reducen en 8%, el amonio libre en el aire a 19%, y los olores en 17.5%. Esto se refleja en un menor porcentaje de amoníaco al ambiente y en una mejor preservación de los recursos naturales del ecosistema en donde se desarrolla el sistema productivo.

Conclusiones

Las dietas formuladas con una concentración de 12.7% y 13.7% PCI redujeron los parámetros productivos de las gallinas ponedoras; la reducción de 0.5% PCI indicó los mismos resultados que tratamiento control.

La reducción del porcentaje de PCI en las dietas no modificó la calidad del huevo, excepto la altura de la albumen y la Unidad Haugh que disminuyeron debido al menor porcentaje de PCI en las dietas.

La reducción de 0.5 y 1.5 % de PCI en las dietas redujo el contenido de N y P en las excretas de las gallinas ponedoras, respectivamente.

Recomendaciones

Formular dietas isoaminoácidas con una reducción de 0.5% de PCI para disminuir la excreción de N al ambiente, sin afectar la productividad y calidad del huevo de gallinas ponedoras.

Repetir el experimento con interacciones entre el uso de enzimas exógenas y una reducción de 0.5% de PCI para evaluar los indicadores productivos y calidad del huevo de aves ponedoras.

Referencias

- Akbari Moghaddam Kakhki R, Heuthorst T, Mills A, Neijat M, Kiarie E. 2019. Interactive effects of calcium and top-dressed 25-hydroxy vitamin D3 on egg production, egg shell quality, and bones attributes in aged Lohmann LSL-lite layers1. *Poult Sci.* 98(3):1254–1262. eng. doi:10.3382/ps/pey446.
- Albán Merino TE, Cevallos Gordón AL. 2018. Determinación de la calidad física y organoléptica de los huevos comerciales de gallina doméstica que se expenden en los mercados del Distrito Metropolitano de Quito: Clasificación de la calidad del cascarón de huevos color marrón de acuerdo a su resistencia a la ruptura. Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Baum JI, Kim I-Y, Wolfe RR. 2016. Protein Consumption and the Elderly: What Is the Optimal Level of Intake? *Nutrients.* 8(6). eng. doi:10.3390/nu8060359.
- Clark CEF, Akter Y, Hungerford A, Thomson P, Islam MR, Groves PJ, O'Shea CJ. 2019. The intake pattern and feed preference of layer hens selected for high or low feed conversion ratio. *PLoS One.* 14(9):e0222304. eng. doi:10.1371/journal.pone.0222304.
- Columbus DA, Lapierre H, Htoo JK, Lange CFM de. 2014. Nonprotein nitrogen is absorbed from the large intestine and increases nitrogen balance in growing pigs fed a valine-limiting diet. *J Nutr.* 144(5):614–620. eng. doi:10.3945/jn.113.187070.
- Conley DJ, Paerl HW, Howarth RW, Boesch DF, Seitzinger SP, Havens KE, Lancelot C, Likens GE. 2009. Ecology. Controlling eutrophication: nitrogen and phosphorus. *Science.* 323(5917):1014–1015. eng. doi:10.1126/science.1167755.
- Duman M, Şekeroğlu A, Yıldırım A, Eleroğlu H, Camcı Ö. 2016. Relation between egg shape index and egg quality characteristics. [sin lugar]: Verlag Eugen Ulmer. 10 p.
- Figueiredo G, Bertechini A, Fassani E, Rodrigues PB, Brito J, Castro S. 2012. Performance and egg quality of laying hens fed with dietary levels of digestible lysine and threonine. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 64(3):743–750. doi:10.1590/S0102-09352012000300028.
- Hy-Line®. 2018. Brown Commercial Layers. EE.UU.: Hy-Line. 32 p; [consultado el 27 de may. de 2021]. <https://www.hyline.com/filesimages/Hy-Line-Products/Hy-Line-Product-PDFs/Brown/BRN%20COM%20AUS.pdf>.
- I. Leinonen, A.G. Williams, I. Kyriazakis. 2014. The effects of welfare-enhancing system changes on the environmental impacts of broiler and egg production. *Poult Sci.* 256–266.
- Ji F, Fu SY, Ren B, Wu SG, Zhang HJ, Yue HY, Gao J, Helmbrecht A, Qi GH. 2014. Evaluation of amino-acid supplemented diets varying in protein levels for laying hens. *Journal of Applied Poultry Research.* 23(3):384–392. doi:10.3382/japr.2013-00831.
- Kumar Patra M, Sanchu V, Ngullie E, Hajra DK, Deka BC. 2016. Influence of egg weight on fertility and hatchability of backyard poultry varieties maintained under institutional farm conditions. *Indian Journal of Animal Science.* 86(8):869–872.
- Lewis AJ, Southern LL. 2001. Swine nutrition. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press. 1009 p. ISBN: 0849306965. <https://www.hyline.com/filesimages/Hy-Line-Products/Hy-Line-Product-PDFs/Brown/BRN%20COM%20SPN.pdf>.
- Li F, Zhang LM, Wu XH, Li CY, Yang XJ, Dong Y, Lemme A, Han JC, Yao JH. 2013. Effects of metabolizable energy and balanced protein on egg production, quality, and components of Lohmann Brown laying hens. *Journal of Applied Poultry Research.* 22(1):36–46. doi:10.3382/japr.2012-00568.
- Lozano Chávez AP. 2018. Los aminoácidos y su rol en el desarrollo y crecimiento de los pollos de engorde. Colombia: Universidad de Cooperativa de Colombia.

- Lu L, Liao X, Luo X. 2017. Nutritional strategies for reducing nitrogen, phosphorus and trace mineral excretions of livestock and poultry. *Journal of Integrative Agriculture*. 16(12):2815–2833. doi:10.1016/S2095-3119(17)61701-5.
- Menezes PC de, Lima ER de, Medeiros JP de, Oliveira WNK de, Evêncio-Neto J. 2012. Egg quality of laying hens in different conditions of storage, ages and housing densities. *R. Bras. Zootec.* 41(9):2064–2069. doi:10.1590/S1516-35982012000900014.
- Mousavi SN, Khalaji S, Ghasemi-Jirdehi A, Foroudi F. 2013. Investigation on the Effects of Various Protein Levels with Constant Ratio of Digestible Sulfur Amino Acids and Threonine to Lysine on Performance, Egg Quality and Protein Retention in Two Strains of Laying Hens. *Italian Journal of Animal Science*. 12(1):e2. doi:10.4081/ijas.2013.e2.
- Patiño PR, Barragan HW, Vergara O, Maza L. 2012. Mecanismos Reguladores de la Absorción de Fosforo. *Revista Colombiana de Ciencias Animales*. 4(2):473–497.
- Rath PK, Mishra PK, Mallick BK, Behura NC. 2015. Evaluation of different egg quality traits and interpretation of their mode of inheritance in White Leghorns. *Vet World*. 8(4):449–452. eng. doi:10.14202/vetworld.2015.449-452.
- Ratriyanto A, Indreswari R, Nuhriawangsa AM. 2017. Effects of Dietary Protein Level and Betaine Supplementation on Nutrient Digestibility and Performance of Japanese Quails. *Rev. Bras. Cienc. Avic.* 19(3):445–454. doi:10.1590/1806-9061-2016-0442.
- Ren Z, Yan J, Hu Q, Liu X, Pan C, Liu Y, Zhang X, Yang X, Yang X. 2020. Phosphorus Restriction Changes the Expression of Fibroblast Growth Factor 23 and Its Receptors in Laying Hens. *Front Physiol*. 11:85. eng. doi:10.3389/fphys.2020.00085.
- Rivera Aguirre MJ. 2020. Efecto de dietas nutraceuticas en los indicadores ambientales y biológicos en pollos de engorde. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.
- Robbins CT, Felicetti LA, Sponheimer M. 2005. The effect of dietary protein quality on nitrogen isotope discrimination in mammals and birds. *Oecologia*. 144(4):534–540. eng. doi:10.1007/s00442-005-0021-8.
- Rossi P, Nunes JK, Rutz F, Anciuti MA, Moraes P, Takahashi SE, Bottega A, Dorneles JM. 2015. Effect of sweet green pepper on yolk color and performance of laying hens. *Journal of Applied Poultry Research*. 24(1):10–14. doi:10.3382/japr/pfu003.
- Saleh AA, El-Awady A, Amber K, Eid YZ, Alzawqari MH, Selim S, Soliman MM, Shukry M. 2021. Effects of Sunflower Meal Supplementation as a Complementary Protein Source in the Laying Hen's Diet on Productive Performance, Egg Quality, and Nutrient Digestibility. *Sustainability*. 13(6):3557. doi:10.3390/su13063557.
- Sarsour AH, Lee JT, Haydon K, Persia ME. 2021. Tryptophan requirement of first-cycle commercial laying hens in peak egg production. *Poult Sci*. 100(3):100896. eng. doi:10.1016/j.psj.2020.11.065.
- Selle PH, Paula Dorigam JC de, Lemme A, Chrystal PV, Liu SY. 2020. Synthetic and Crystalline Amino Acids: Alternatives to Soybean Meal in Chicken-Meat Production. *Animals (Basel)*. 10(4). eng. doi:10.3390/ani10040729.
- Sokołowicz Z, Krawczyk J, Dykiel M. 2018. The Effect of the Type of Alternative Housing System, Genotype and Age of Laying Hens on Egg Quality. *Annals of Animal Science*. 18(2):541–556. doi:10.2478/aoas-2018-0004.
- Toomer OT, Hulse-Kemp AM, Dean LL, Boykin DL, Malheiros R, Anderson KE. 2019. Feeding high-oleic peanuts to layer hens enhances egg yolk color and oleic fatty acid content in shell eggs. *Poult Sci*. 98(4):1732–1748. eng. doi:10.3382/ps/pey531.
- van Emous RA, Kwakkel RP, van Krimpen MM, Hendriks WH. 2015. Effects of dietary protein levels during rearing and dietary energy levels during lay on body composition and reproduction in broiler breeder females. *Poult Sci*. 94(5):1030–1042. eng. doi:10.3382/ps/pev079.