



Potencial de la semilla de *Lupinus angustifolius*, descascarada y tratada con calor, para la producción de huevos, consumo de alimento y calidad del huevo en pollos comerciales

Potential of heat-treated dehulled seed of *Lupinus angustifolius* on egg production, feed intake and egg quality characteristics in commercial chickens

Alem Dida^{1,2}, Aberra Melesse^{1*}

¹Hawassa University, College of Agriculture, School of Animal and Range Sciences, Ethiopia

²Selale University, College of Agriculture and Natural Resource, Department of Animal Science, Ethiopia

*Autor para correspondencia: a_melesse@uni-hohenheim.de

Este estudio se realizó para investigar el efecto de la sustitución de harina de soja, como reemplazo parcial de lupino (harina de *Lupinus angustifolius*, HDL) tratado con calor y descascarado, en la productividad y calidad de los huevos de gallinas ponedoras Lohmann Brown. Se asignaron aleatoriamente ciento sesenta gallinas ponedoras a cuatro dietas de tratamiento, replicadas cuatro veces con diez aves cada una. Los tratamientos fueron la dieta control sin HDL (HDL0) y dietas que contenían HDL al 9 % (HDL9), 18 % (HDL18) y 27 % (HDL27). Los resultados indicaron que la producción de huevos, el peso de los huevos, la masa de huevos y la relación de conversión alimenticia no cambiaron debido al efecto de los grupos experimentales, excepto el consumo de alimento. Las gallinas alimentadas con HDL0 tuvieron un mayor ($P<0.05$) consumo de alimento que aquellas alimentadas con la dieta HDL27. La producción de huevo por gallina en el galpón se registró en 48.3 %, 47.3 %, 50.5 % y 47.0 % para las dietas HDL0, HDL9, HDL18 y HDL27, respectivamente. El consumo de alimento promedio diario de las gallinas alimentadas con dietas HDL0, HDL9, HDL18 y HDL27 fue de 107 g, 106 g, 105 g y 102 g, respectivamente. La masa de huevo por gallina para estas dietas fue de 2.84 kg, 2.74 kg, 2.97 kg y 2.72 kg, en ese orden. La relación de conversión alimenticia (kg de alimento/kg de masa de huevo) varió de 3.94 con la dieta HDL18 a 4.23 con la dieta HDL27. Las cualidades internas del huevo no tuvieron influencia significativa de los tratamientos dietéticos. El peso seco de la cáscara, la proporción de cáscara y la densidad en las gallinas que recibieron dietas HDL9 y HDL18 fueron comparables a los observados en el grupo control. El peso del huevo, la longitud del huevo, el ancho del huevo, la altura de la yema, el ancho de la yema, la altura de la clara y la puntuación de la unidad Haugh aumentaron con la edad ($P<0.05$). En conclusión, reemplazar la soja con hasta un 18 % de HDL resultó en efectos observables en la calidad nutricional y los parámetros de rendimiento de las gallinas.

Palabras clave: calidad del huevo, consumo de alimento, gallina ponedora, producción de huevos, lupino dulce procesado

This study was conducted to investigate the effect of substitution of soybean meal as partial replacement of heat-treated-dehulled lupin (*Lupinus angustifolius* meal, HDL) on the productivity and egg quality from Lohmann Brown laying hens. One hundred sixty laying hens were randomly assigned to four treatment diets replicated four times with ten birds each. The dietary treatments were the control diet without HDL (HDL0) and diets containing HDL at 9 % (HDL9), 18 % (HDL18) and 27 % (HDL27). The results indicated that egg production, egg weight, egg mass and feed conversion ratio did not change due to the effect of the experimental groups, except for feed intake. Hens fed HDL0 had higher ($P<0.05$) feed intake than those fed HDL27 diet. Hen-housed egg production was recorded at 48.3 %, 47.3 %, 50.5 %, and 47.0 % for the HDL0, HDL9, HDL18, and HDL27 diets, respectively. The corresponding average daily feed intake for hens fed on HDL0, HDL9, HDL18, and HDL27 diets was 107 g, 106 g, 105 g, and 102 g. Egg mass per hen for these diets measured 2.84 kg, 2.74 kg, 2.97 kg and 2.72 kg, in that order. The feed conversion ratio (kg feed/kg egg mass) ranged from 3.94 with HDL18 to 4.23 with HDL27 diets. Internal egg qualities were not significantly influenced by the dietary treatments. Dry shell weight, eggshell ratio, and density for hens receiving HDL9 and HDL18 diets were comparable to those observed in the control group. Egg weight, egg length, egg width, yolk height, yolk width, albumen height, and Haugh unit score increased with advancing age ($P<0.05$). In conclusion, replacing soybean with up to 18 % HDL resulted in observable effects on the nutritional quality and performance metrics of hens.

Keywords: egg production, egg quality, feed intake, laying hen, processed sweet lupin

Recibido: 25 de abril de 2025

Aceptado: 30 de julio de 2025

Conflictos de Interés: Los autores declararon que no existe ningún conflicto de intereses.

Declaración de Contribución de Autoría CRediT: Conceptualización, Investigación, Metodología, Redacción - documento original: Alem Dida. Supervisión: Aberra Melesse. Curación de datos: Alem Dida, Aberra Melesse. Validación, Redacción - revisión y edición: Aberra Melesse.



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



Introducción

El alimento para aves representa más del 70 % de los costos de producción, y muchos países en desarrollo enfrentan gastos mayores debido a la dependencia de fuentes de proteína importadas como la harina de soja (Juodka *et al.* 2017, Melesse *et al.* 2019 y Struti *et al.* 2021). La harina de soja se valora por su equilibrio de aminoácidos y normalmente constituye entre 20 % y 33 % de las dietas avícolas, aunque la creciente demanda mundial ha hecho que sea menos accesible para los pequeños productores (Mabusela *et al.* 2018 y Struti *et al.* 2020). Esto justifica la exploración de fuentes de proteína alternativas con una nutrición comparable que podrían reducir los costos (Melesse *et al.* 2019 y Al-Sagan *et al.* 2020). La semilla de lupino es un sustituto prometedor, pero ha estado limitada por factores antinutricionales, principalmente alcaloides quinolizidínicos como la lupinina y la esparteína (Abraham *et al.* 2019). Los avances en la cría han producido variedades con bajo contenido de alcaloides, incluyendo el lupino azul dulce (*L. angustifolius*), que contiene menos del 0.05 % de alcaloides y puede reemplazar la harina de soja en las dietas de aves sin afectar la producción de huevos (Kasprowicz-Potocka *et al.* 2016 y Abraham *et al.* 2019). Los lupinos ofrecen niveles más altos de varios aminoácidos esenciales que la soja, aunque contienen menos metionina y cisteína (Amir *et al.* 2012, Tadele 2015 y Kasprowicz-Potocka *et al.* 2016).

Se ha considerado que la eliminación de la cáscara mediante tratamiento térmico es una estrategia adecuada para aumentar el nivel de suplementación de lupino en la dieta de gallinas ponedoras (Struti *et al.* 2020, 2021, Ferchichi *et al.* 2021 y Ayalew *et al.* 2024). La aplicación de calor, combinado con la eliminación de la cáscara de semillas de lupino dulce, podría degradar los polisacáridos no estructurales y las propiedades antinutricionales, al tiempo que aumentan los niveles de proteína y grasa cruda hasta 51.08 % y 11.90 %, respectivamente, y el contenido de fibra ha disminuido considerablemente en 4.40 % (Timová *et al.* 2020 y Struti *et al.* 2020, 2021). Uzun y Agma Okur (2023) informaron que se aplicó tratamiento térmico a 130 °C durante 20 minutos a semillas de lupino blanco y azul sin causar ningún efecto de desnaturalización en el contenido de proteína del lupino procesado. Al-Amrousi *et al.* (2022) reportaron que el tueste de semillas de lupino dulce y amargo a 180 °C durante un corto período (10 minutos) mejoró los componentes bioactivos menores. Straková *et al.* (2021) revelaron que la sustitución de la soja por lupino ha resultado en una reducción significativa de los niveles de triglicéridos y colesterol total en el plasma sanguíneo de los pollos, lo que lo convierte en una fuente de alimento adecuada con un impacto positivo en la salud de los consumidores. Además, se produjeron yemas de huevo con

bajos niveles de colesterol debido a la alimentación con harina de semillas de lupino blanco (Timová *et al.* 2020).

Varias investigaciones han evaluado el valor nutricional de la semilla de lupino dulce en el crecimiento y el consumo de alimento de pollos de engorde (Struti *et al.* 2020, 2021, Siger *et al.* 2023 y Dida y Melesse 2024). Sin embargo, hay información limitada en la literatura que informe sobre el potencial de la harina de semilla de lupino dulce (*L. angustifolius*), descascarada y tratada con calor, en el consumo de alimento, la producción de huevos y las características de calidad del huevo en ambientes productivos tropicales. Se planteó la hipótesis de que sustituir harina de soja con proporciones variables de harina de semilla de lupino descascarada y tratada con calor no tendría un impacto significativo en el consumo de alimento, la producción de huevos o las características de calidad del huevo. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto del reemplazo de la harina de soja por harina de lupino azul dulce, descascarado y tratado con calor, en el consumo de alimento, la producción de huevos y las características de calidad del huevo de gallinas ponedoras raza Lohmann Brown, criadas en un ambiente tropical.

Materiales y Métodos

Preparación de semillas dulces de lupino: La semilla cruda se tostó en una sartén durante 15 minutos a una temperatura de 130 °C y luego se enfrió y se descascaró utilizando un molino de rodillos, exponiéndola al aire para lograr la separación completa de los cotiledones de las cáscaras. Se utilizó un molino de martillos para triturar la semilla tostada, tal como lo describen Laudadio y Tufarelli (2011), para producir la harina que en lo sucesivo se denominará lupino descascarado tratado con calor (HDL).

Diseño de la investigación y manejo de las aves: Se obtuvieron un total de 160 pollitas Lohmann en etapa pre-postura de 16 semanas de edad de Alema Farms PLC (Bishoftu, Etiopía). Se mantuvieron en el sitio experimental hasta que comenzaron a poner huevos, durante el cual se les alimentó con una ración comercial para pre-postura. El experimento comenzó cuando las pollitas tenían 19 semanas de edad. Se formularon cuatro tratamientos dietéticos para contener 0 % HDL (HDL0), 9 % HDL (HDL9), 18 % HDL (HDL18) y 27 % HDL (HDL27) (tabla 1). Luego, las gallinas se distribuyeron aleatoriamente por cada tratamiento y se replicó cuatro veces con 10 pollitas cada una. Las dietas de tratamiento se formularon para ser isocalóricas e isoproteicas, con similar densidad energética y niveles de proteína (tabla 2).

Los corrales experimentales, así como los bebederos y comederos, se limpiaron y desinfectaron. Las aves se mantuvieron en corrales de malla metálica de 1.5 m x 1.65 m, divididos en compartimentos, y el piso de concreto estaba cubierto con aserrín de unos 5 cm de profundidad.

Tabla 1. Niveles de inclusión de los ingredientes en la formulación de las dietas experimentales (%)

Ingredientes	Niveles de lupino descascarado tratado con calor			
	HDL0	HDL9	HDL18	HDL27
Grano de maíz	34.5	31.0	30.0	26.1
Grano de trigo	6.00	6.00	6.00	6.00
Recortes de trigo	25.1	27.1	27.1	29.0
Harina de soya	25.5	18.0	10.0	3.0
Lupino descascarado tratado con calor	0.0	9.0	18.0	27.0
Polvo de piedra caliza	7.5	7.5	7.5	7.5
Premezcla vitamínica	0.40	0.40	0.40	0.40
Sal común	0.50	0.50	0.50	0.50
Lisina	0.32	0.32	0.32	0.32
Metionina	0.35	0.35	0.35	0.35
Total	100	100	100	100

Tabla 2. Composición aproximada analizada de los ingredientes y la concentración calculada de nutrientes en cada tratamiento (% , como base alimenticia)

Indicadores	Ceniza	PC	EE	FC	Ca	P	EM (kcal/kg)
Ingredientes analizados							
Maíz	4.30	8.01	4.30	3.10	0.03	0.42	2800
Harina de soya	10.3	43.1	12.5	7.80	0.23	0.62	3500
Granos de trigo	4.10	13.4	9.10	5.20	0.07	0.34	2947
Recortes de trigo	8.80	15.6	3.30	13.0	0.04	0.70	2621
Lupino descascarado tratado con calor	8.40	37.1	12.9	11.2	0.09	0.40	3316
Piedra caliza	-	-	-	-	38.0	0.04	-
Premezcla vitamínica	-	-	-	-	7.12	-	-
Dietas calculadas							
HDL0	6.56	18.5	4.96	6.63	3.12	0.59	2756
HDL9	6.57	18.6	6.18	7.21	3.11	0.49	2775
HDL18	6.46	18.4	6.30	7.56	3.10	0.47	2814
HDL27	6.50	18.7	6.48	8.15	3.09	0.46	2830

PC: proteína cruda, EE: extracto etéreo, FC: fibra cruda, Ca: calcio, P: fósforo, EM: energía metabolizable

La cama húmeda se reemplazaba con aserrín seco y limpio siempre que fuera necesario. Durante el día se utilizaba la luz solar como fuente de iluminación natural, y por la noche se añadía luz fluorescente complementaria para un total de aproximadamente 16 horas. Se proporcionaba agua *ad libitum*. Se administró una solución de polvo de amprolio al 20 % (12 g por 20 litros) a través del agua de bebida durante 5 a 7 días como medida profiláctica contra la coccidiosis.

Procedimientos de recolección de datos: La recolección de datos sobre la producción de huevos comenzó cuando las aves tenían 22 semanas de edad y continuó hasta que alcanzaron las 37 semanas, abarcando 16 semanas consecutivas. A las aves se les proporcionaron sus tratamientos dietéticos respectivos dos veces al día: una vez por la mañana a las 08:00 y nuevamente por la tarde a las 16:00. La ración diaria pesada se dividió en dos porciones iguales. El rechazo de alimento se recogió al día siguiente antes de ofrecer la siguiente alimentación.

El consumo de alimento se calculó restando el rechazo de alimento del alimento ofrecido. Los huevos se recogieron dos veces al día de cada corral a las 08:00 y a las 17:00. Como no se registró mortalidad durante el período experimental, la producción de huevos se determinó de acuerdo con las gallinas alojadas, considerando el número inicial de gallinas. El peso de cada huevo se registró diariamente y se promedió. La producción total de masa de huevo se calculó multiplicando el número total de huevos producidos durante el período experimental por el peso promedio de estos huevos. La relación de conversión alimenticia (kg de alimento/kg de masa de huevo) se calculó entonces dividiendo el total de alimento consumido entre la masa total de huevos producida.

Las características de calidad del huevo se midieron en cuatro puntos de edad. Las primeras, segundas, terceras y cuartas características de calidad del huevo se determinaron a las edades de 24, 28, 32 y 36 semanas, respectivamente.

Los huevos se recogieron durante cinco días consecutivos en cada punto de edad y se almacenaron en una sala fría. Los huevos individuales y el peso de la cáscara seca se midieron utilizando una balanza de tres brazos. La longitud del huevo, el ancho del huevo y el diámetro de la yema se midieron con un calibrador digital. Se utilizó un micrómetro de trípode para medir las alturas del albumen y la yema. El color de la yema se determinó utilizando el abanico de color de yema de Rosche. La puntuación de la unidad Haugh (UH) se calculó según Eisen *et al.* (1962), aplicando la altura promedio del albumen y el peso del huevo en la ecuación: $UH = 100 \log(\text{altura del albumen} + 7.57 - 1.7 * \text{peso del huevo}^{0.37})$. El índice de yema se calculó dividiendo la altura de la yema por su ancho.

Se utilizaron las dimensiones del huevo, longitud (L) y ancho (W), para calcular los siguientes parámetros geométricos: índice de forma del huevo, que se calculó como la relación de W a L multiplicada por 100. El área de la superficie del huevo se calculó utilizando el método de Narushin *et al.* (2021a) como $0.933W(W+2.343L)$. La proporción de cáscara se determinó dividiendo el peso de la cáscara seca entre el peso del huevo. La densidad de la cáscara del huevo se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Densidad de la cáscara (g/cm}^2\text{)} = \frac{\text{peso de la cáscara seca}}{\text{área de la superficie del huevo}}$$

Análisis de composición química: Se analizaron muestras de harina de soya, harina de semillas de lupino descascaradas y tratadas con calor, y los alimentos ofrecidos para determinar materia seca, cenizas, extracto etéreo y fibra cruda utilizando los procedimientos de la AOAC (1995) en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad de Hawassa. La proteína cruda, calcio y fósforo se analizaron en el Centro de Investigación Agrícola de Holeta (Etiopía). El contenido de proteína cruda se analizó mediante el método micro-Kjeldahl, mientras que las concentraciones de calcio y fósforo se determinaron mediante espectrofotometría de absorción atómica (incineración en seco) según lo descrito por la AOAC (1995). La energía metabolizable de las dietas se estimó con base en las tablas de composición de alimentos tropicales para aves, mientras que la de los lupinos descascarados y tratados con calor se calculó usando la ecuación de Wiseman (1987).

Análisis Estadístico: Los datos sobre consumo de alimento, producción de huevos, peso del huevo, masa de huevo y la relación de conversión alimenticia se analizaron utilizando ANOVA simple, considerando los efectos de las dietas de tratamiento como un único factor fijo. Dado que los efectos de interacción del tratamiento por edad no fueron significativos para todas las características de calidad del huevo, se excluyeron del análisis estadístico. En consecuencia, los datos de calidad de huevo medidos en cuatro puntos de edad se agruparon y se sometieron a ANOVA simple, considerando las dietas de tratamiento como único efecto

factorial. La significancia de las diferencias entre medias se analizó utilizando la prueba post-hoc de Tukey. Para comprobar el efecto de la edad, los datos sobre las dietas de tratamiento para la calidad de huevo se agruparon adicionalmente y se sometieron al procedimiento Lineal General (debido a valores faltantes) considerando la edad como único factor. Posteriormente, se aplicó la prueba de Tukey-Kramer para medias ajustadas para comparar las medias cuadráticas del efecto de la edad. Además, se realizó un análisis de tendencias mediante contrastes de polinomios ortogonales para determinar los efectos lineales y cuadráticos de los niveles crecientes de sustituciones dietéticas de lupino. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el Sistema de Análisis Estadístico (SAS 2016, ver. 9.4) y los resultados se presentan en medias cuadráticas junto con el error estándar promedio combinado.

Resultados y Discusión

Consumo de alimento y producción de huevos: Como se presenta en la tabla 2, el contenido de grasa y la concentración de energía metabolizable en HDL fueron similares a los de la harina de soya (12.9 % en HDL ante 12.5 % en harina de soya y 3316 kcal/kg en HDL frente a 3500 kcal/kg en harina de soya). Como se muestra en la tabla 3, los valores promedio del número total de huevos, el peso del huevo y la masa de huevo fueron similares ($P>0.05$) entre los tratamientos dietéticos, lo cual coincide con los informes de Lee *et al.* (2016a). Además, los hallazgos se alinean con los de Struti *et al.* (2021), quienes reportaron que la incorporación de semillas de lupino descascaradas en la dieta de codornices no afectó la producción de huevos en comparación con el grupo control. Kowalska *et al.* (2020) reportaron que una inclusión del 10 al 20 % de semillas de lupino junto con una inclusión del 10 % de guisantes no tuvo un efecto negativo en la mayoría de las características de producción de huevos. Sin embargo, reportaron que la dosis más alta de lupino de hoja estrecha (25 %) en la dieta se asoció con una reducción en el peso de los huevos.

La masa de huevo ha disminuido linealmente ($P=0.03$) con niveles crecientes de sustitución de harina de soya por HDL, observándose la mayor reducción al 27 %. La masa de huevo es el producto del número total de huevos y el peso promedio de los huevos, y la reducción observada podría estar asociada a bajos niveles de aminoácidos esenciales en la semilla de lupino. Los investigadores han revelado que la mayoría de las especies de lupino presentan una deficiencia significativa en aminoácidos que contienen azufre, principalmente metionina, que es esencial para la síntesis de cisteína y fenilalanina (Roman *et al.* 2023 y Kponouglo *et al.* 2024).

Por otro lado, las dietas que contenían niveles mayores de harina de semillas de lupino descascaradas y tratadas con calor afectaron el consumo total y diario medio de alimento de las gallinas ponedoras.

Tabla 3. Media de mínimos cuadrados de la producción de huevos, consumo de alimento y relación de conversión alimenticia en gallinas alimentadas con harina de semillas de lupino, descascaradas y tratadas con calor, a distintos niveles, como sustituto parcial de la harina de soya.

Variables	Niveles de Sustitución (%)				EEM (±)	Valores de P		
	HDL0	HDL9	HDL18	HDL27		ANOVA	Lineal	Cuadrático
Número total de huevos (por gallina)	54.1	52.9	56.5	52.6	1.46	0.278	0.895	0.090
Producción de huevos de las gallinas utilizadas (%)	48.3	47.3	50.5	47.0	1.30	0.275	0.882	0.890
Peso del huevo (g)	52.5	51.9	52.5	51.7	0.33	0.276	0.767	0.145
Masa de huevo total (kg/gallina)	2.84	2.74	2.97	2.72	0.08	0.178	0.030	0.065
Consumo total de alimento (kg/gallina)	11.8 ^a	11.8 ^a	11.7 ^{ab}	11.4 ^b	0.09	0.039	0.044	0.256
Consumo de alimento medio diario (g/gallina)	107 ^a	106 ^{ab}	105 ^{ab}	102 ^b	2.34	0.045	0.056	0.398
RCA (kg alimento/kg masa de huevo)	4.18	4.29	3.96	4.23	0.12	0.317	0.741	0.130

^{a-c}Medias con diferente superíndice en los tratamientos son significativas para $p < 0.05$. RCA: relación de conversión alimenticia, EEM: error estándar de la media

En consecuencia, la sustitución de harina de soja por un 27 % de harina de semillas de lupino descascaradas y tratadas con calor resultó en una disminución ($P < 0.039$) del consumo de alimento en comparación con los demás tratamientos. De igual manera, el consumo total de alimento disminuyó linealmente entre los grupos de tratamiento ($P = 0.044$). Ninguna de las variables mostró una tendencia significativa de efecto cuadrático. Como los resultados actuales, [Rutkowski et al. \(2017\)](#) observaron disminución del consumo de alimento y una relación de conversión del alimento deficiente en gallinas Hy-Line Brown, alimentadas con una dieta que contenía 25 % de semillas de lupino amarillo. La reducción en el consumo de alimento puede atribuirse a la presencia de alcaloides y oligosacáridos en las semillas de lupino, ya que niveles elevados de alcaloides pueden reducir notablemente la digestibilidad de proteínas ([Jeroch et al. 2016](#)). Además, [Pham et al. \(2020\)](#) informaron que las semillas de *L. angustifolius* contenían niveles más altos de carbohidratos estructurales, lo que podría haber tenido una influencia negativa en el consumo de alimento de las gallinas.

Por otro lado, [Park et al. \(2016\)](#) informaron que altos niveles de semillas de lupino sin procesar en la dieta de gallinas ponedoras influyó positivamente en la ingesta diaria promedio de alimento. Revelaron que el consumo diario de alimento de las aves alimentadas con dietas de lupino aumentó en la semana seis en comparación con el grupo de control. En otro estudio, la sustitución de harina de soja en un 7, 10 y 15 % por harina de semilla descascarada de lupino mejoró la producción de huevos y el peso de los huevos por gallina en comparación con la dieta de control ([Andrianova et al. 2019](#)). Las diferencias que reportaron diversos investigadores sobre el efecto de la semilla de lupino en el consumo de alimento podrían estar asociadas con la variedad de la semilla, la actividad física de las aves, los tipos de sistemas de alojamiento utilizados y las condiciones ambientales en las que se criaron las aves.

Características de calidad del huevo: Como se muestra en la [tabla 4](#), el ancho del huevo, el peso seco de la cáscara, la proporción de cáscara y la densidad de la cáscara se afectaron ($P < 0.05$) por las dietas de tratamiento, siendo mayores en las gallinas alimentadas con la dieta HDL0 que en las de HDL27. No se observaron diferencias significativas entre las gallinas alimentadas con las dietas HDL0, HDL9 y HDL18 en cuanto a las mismas características. Sin embargo, el ancho del huevo fue significativamente mayor ($P < 0.05$) en las gallinas alimentadas con la dieta HDL0 que en aquellas alimentadas con las dietas HDL18 y HDL27. Se observó una disminución lineal ($P < 0.015$) en el peso de la cáscara, la proporción de la cáscara y la densidad de la cáscara en las dietas de tratamiento.

En el estudio actual, el índice de forma del huevo no se vio afectado por las dietas de tratamiento, lo cual no concuerda con las observaciones de [Kowalska et al. \(2021\)](#), quienes reportaron que el índice de forma del huevo en el grupo alimentado con lupino de hojas estrechas fue mayor que en el grupo control. La reducción observada en el peso seco de la cáscara en pollos alimentados con dietas de tratamiento coincide con los hallazgos de [Rutkowski et al. \(2017\)](#), quienes reportaron una tendencia de deterioro en las características de calidad del huevo con niveles crecientes de inclusión de lupino amarillo (*Lupinus luteus* L.) no procesado en dietas para aves de corral. Observaron que una inclusión de 10-25 % de lupino redujo la proporción de cáscara de huevo en cada grupo nutricional. La cáscara de huevo está compuesta casi en su totalidad por cristales de carbonato de calcio (CaCO_3). Por lo tanto, el suministro de cantidades adecuadas de calcio mineral en la dieta de las gallinas ponedoras es esencial. El contenido de calcio en el lupino descascarado y tratado con calor fue menor que en la harina de soja y esto puede atribuirse al proceso de descascarado, ya que el calcio se deposita predominantemente en la cáscara, lo que resulta en una menor concentración después de eliminada esta ([Park et al. 2016](#)).

Tabla 4. Medias de mínimos cuadrados de las cualidades externas de los huevos de gallinas ponedoras alimentadas con diferentes niveles de harina de semillas de lupino, descascaradas y tratadas con calor, como sustituto parcial de la harina de soya

Rasgos de calidad del huevo	Niveles de sustitución (%)				EEM (\pm)	Valores de P		
	HDL0	HDL9	HDL18	HDL27		ANOVA	Lineal	Cuadrático
Largo del huevo (mm)	55.0	54.6	54.4	54.5	0.25	0.385	0.950	0.642
Ancho del huevo (mm)	42.1 ^a	41.7 ^{ab}	41.4 ^b	41.5 ^b	0.18	0.049	0.267	0.382
Índice de forma del huevo	77.5	77.0	76.3	76.0	0.47	0.522	0.578	0.347
Peso de la cáscara seca (g)	6.28 ^a	6.10 ^{ab}	5.95 ^{ab}	5.75 ^b	0.09	0.014	0.015	0.823
Proporción de la cáscara (%)	11.5 ^a	11.2 ^{ab}	11.0 ^{ab}	10.6 ^b	0.18	0.039	0.014	0.874
Área de superficie del huevo (cm ²)	67.0	66.8	66.5	66.4	0.49	0.884	0.646	0.894
Densidad de la cáscara (g/cm ²)	19.6 ^a	19.0 ^{ab}	18.5 ^{ab}	17.8 ^b	0.36	0.097	0.038	0.903

^{a-c}Medias con superíndices diferentes en los tratamientos, son significativos a $p < 0.05$. EEM: error estándar de la media

El puntaje observado del índice de forma del huevo concuerda con los hallazgos de [Kponouglo et al. \(2024\)](#), quienes reportaron valores comparativos para gallinas alimentadas con semillas de lupino fermentadas. En la industria avícola, el índice de forma del huevo se considera una de las características importantes para paquetes uniformes de huevos durante el transporte y entrega, al disminuir la probabilidad de rotura de los huevos. Un índice de forma del huevo de 75 se considera el más satisfactorio, lo que coincide con la presente investigación.

La calidad de la clara y la yema es de particular interés para los consumidores de productos avícolas ([Tolimir et al. 2017](#)). La calidad de la clara y la yema se expresa mediante proporción e índice ([Kraus et al. 2019](#) y [2021](#)). Los valores de la unidad Haugh son un parámetro crucial para evaluar la calidad de la clara, lo que ayuda a determinar la calidad general del contenido del huevo y su frescura ([Narushin et al. 2021b](#)). Como se presenta en la [tabla 5](#), no se observaron diferencias significativas entre las dietas de tratamiento en todas las características internas de calidad del huevo, lo cual concuerda con las observaciones de [Park et al. \(2016\)](#) y [Kponouglo et al. \(2024\)](#). De manera similar, el análisis de contraste polinomial

ortogonal no mostró ningún efecto lineal o cuadrático de las dietas de tratamiento en las cualidades internas. [Rutkowski et al. \(2017\)](#) informaron que la inclusión del 15 % de lupino se asoció con una mayor proporción de clara delgada en los huevos. Sin embargo, el presente estudio no reveló diferencias significativas en la calidad de la clara entre las dietas de tratamiento. En contraste con el estudio actual, [Kowalska et al. \(2021\)](#) informaron que, en el grupo alimentado con lupino de hojas estrechas, la altura de la clara espesa, el valor de Haugh y el color de la yema fueron mayores que en el grupo control. Tales diferencias podrían deberse a la variedad de lupino utilizada por los distintos investigadores.

De acuerdo con los hallazgos actuales, [Kowalska et al. \(2020\)](#) y [Kponouglo et al. \(2024\)](#) informaron que las dietas que contenían semillas de lupino de hoja estrecha y fermentadas no tenían efecto en la altura de la clara y los valores de la unidad Haugh. En otro estudio, [Park et al. \(2016\)](#) informaron mayores valores de la unidad Haugh que los observados en el presente estudio para gallinas ponedoras marrones alimentadas con diferentes niveles de semillas de lupino sin procesar (*Lupinus angustifolius* L.). Aunque no significativo,

Tabla 5. Medias de mínimos cuadrados de las cualidades internas de los huevos de gallinas ponedoras alimentadas con diferentes niveles de harina de semillas de lupino, descascaradas y tratadas con calor, como sustituto parcial de la harina de soya.

Rasgos de calidad del huevo	Niveles de sustitución (%)				EEM (\pm)	Valores de P		
	HDL0	HDL9	HDL18	HDL27		ANOVA	Lineal	Cuadrático
Peso del huevo (g)	54.8	54.4	54.2	54.1	0.57	0.847	0.647	0.939
Largo de la yema (mm)	39.6	39.3	39.2	39.1	0.18	0.293	0.562	0.961
Altura de la yema (mm)	16.7	16.4	16.2	16.3	0.20	0.375	0.728	0.778
Índice de la yema	0.42	0.42	0.41	0.42	0.04	0.601	0.781	0.632
Color de la yema	4.60	4.63	4.81	5.19	0.41	0.731	0.360	0.629
Altura de la clara (mm)	7.21	6.82	6.71	6.84	0.14	0.115	0.943	0.547
Valor de la unidad Haugh	86.1	83.7	82.9	83.6	0.83	0.114	0.918	0.532

EEM: error estándar de la media

el color de la yema aumentó linealmente con el incremento de las dietas de tratamiento, lo cual concuerda con los informes de Park *et al.* (2016), quienes reportaron que la suplementación con semillas de lupino sin procesar en dietas de gallinas ponedoras mejoraba linealmente el color de la yema. Rutkowski *et al.* (2017) también encontraron una mejora significativa del color de la yema en el grupo alimentado con una dieta que contenía 25 % de semillas de lupino amarillo (*Lupinus luteus* L.).

Se ha informado que la inclusión de harina de semillas de lupino azul en las dietas de gallinas ponedoras mejora los perfiles de grasa de la yema, lo cual es esencial para la salud de los consumidores (Kowalska *et al.* 2020). Timová *et al.* (2020) demostraron que reemplazar la soya extraída por harina de semillas de lupino blanco en las mezclas de alimento, tanto al 50 % como al 100 % como fuente de proteína, disminuyó significativamente los ácidos grasos saturados y aumentó los ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados, los cuales son esenciales para la salud de los consumidores, especialmente para la prevención de enfermedades coronarias. Los niveles de colesterol de los huevos producidos por gallinas alimentadas con semillas fermentadas de lupino (*Lupinus angustifolius*) fueron significativamente más bajos que los de la dieta de control (Kponouglo *et al.* 2024). De manera similar, Lim y Choi (2023) observaron niveles significativamente mayores de ácidos grasos poliinsaturados en pollos de ceba alimentados con 10 % y 20 % de harina de semillas de lupino (*Lupinus angustifolius*), en comparación con aquellos alimentados con la dieta control.

Efecto de la edad en la calidad del huevo: Como se muestra en la tabla 6, el peso de la cáscara seca y el color de la yema no se afectaron por la edad, mientras que el peso del huevo, la longitud del huevo, el ancho del huevo, la altura y el ancho de la yema, la altura del albumen y el valor de la unidad Haugh aumentaron de manera significativa y lineal con la edad. Estas observaciones coinciden con las

reportadas por Yurtseven *et al.* (2021) en gallinas criadas en el sistema de producción de campo abierto. De manera similar, Manyeula *et al.* (2021) reportaron que el peso del huevo, la longitud del huevo, el ancho del huevo, la yema, el contenido del huevo, el volumen del huevo, el porcentaje de cáscara, el peso del albumen y el área superficial del huevo aumentaron con la edad de la gallina. Por otro lado, los índices de forma del huevo y de la yema disminuyeron significativamente con la edad avanzada de las gallinas y estas observaciones coinciden con las reportadas por Kraus *et al.* (2021) y Tainika *et al.* (2024). Estos últimos autores informaron una disminución significativa de la resistencia de la cáscara con la edad de las gallinas, mientras que el grosor de la cáscara mostró un patrón inconsistente. En otro estudio, Lee *et al.* (2016b), Kowalska *et al.* (2020) y Sam (2023) reportaron una disminución significativa en la altura del albumen, el valor de la unidad Haugh y el color de la yema con el aumento de la edad de las gallinas.

Manyeula *et al.* (2021) informaron aumento del índice de forma del huevo con la edad de la gallina, lo cual contrasta con el presente estudio. Tales variaciones podrían deberse a la raza de pollo y al tipo de dieta utilizada, así como a la edad de las gallinas cuando se recopilaron los datos. Por ejemplo, Lee *et al.* (2016b) y Alo *et al.* (2024) encontraron que los huevos de gallinas de 60 semanas de edad tenían valores de altura de albumen y de unidad Haugh más bajos en comparación con los huevos de gallinas de 30 semanas. Chung y Lee (2014) informaron que la edad de la gallina no afectó la calidad del huevo. Por el contrario, Kowalska *et al.* (2021) encontraron una diferencia significativa en las características de calidad del huevo según la edad de las gallinas. El peso del huevo, la densidad de la cáscara, el peso de la cáscara, la resistencia a la rotura y el grosor aumentaron significativamente con la edad de las gallinas (de 19 a 39 semanas de edad). Los mismos autores informaron una disminución significativa en la altura del albumen y en el valor de la unidad Haugh, lo cual no concuerda con los resultados de la investigación actual.

Tabla 6. Medias de cuadrados mínimos de los rasgos internos y externos de los huevos, que se afectan por la edad de la gallina

Rasgos del huevo	Edad de las gallinas (semanas)				EEM (±)	Valor de P
	24	28	32	36		
Altura del huevo	51.1 ^c	52.2 ^b	56.4 ^a	56.8 ^a	0.416	<0.001
Longitud del huevo	52.4 ^c	54.6 ^b	54.6 ^b	56.9 ^a	0.291	<0.001
Ancho del huevo	40.9 ^c	41.5 ^b	41.9 ^{ab}	42.4 ^a	0.185	<0.001
Índice de la forma del huevo	78.1 ^a	76.0 ^b	77.8 ^a	73.9 ^c	0.004	<0.001
Peso de la cáscara seca	6.02	6.25	5.79	6.17	0.126	0.057
Ancho de la yema	35.5 ^d	40.6 ^b	39.6 ^c	41.5 ^a	0.264	<0.001
Altura de la yema	15.6 ^c	16.3 ^b	16.3 ^b	17.4 ^a	0.161	<0.001
Índice de la yema	0.44 ^a	0.40 ^c	0.41 ^{bc}	0.42 ^b	0.004	<0.001
Color de la yema	4.42	4.95	4.39	4.72	0.276	0.419
Altura del albumen	6.53 ^c	6.61 ^b	7.13 ^a	7.35 ^a	0.139	<0.001
Unidades Haugh	82.6 ^b	83.0 ^b	84.9 ^{ab}	86.3 ^a	0.849	<0.001

El valor de la unidad Haugh se ha aceptado ampliamente como el “estándar de oro” para cuantificar la calidad interna y la frescura de los huevos. El valor de la unidad Haugh disminuye rápidamente con el tiempo, lo que la convierte en una medida sensible del deterioro del huevo poco después de la puesta. Por otro lado, el índice de la yema cuantifica la integridad estructural de la yema del huevo, la cual disminuye gradualmente durante el período de almacenamiento, lo que permite identificar diferencias de calidad entre huevos que se han deteriorado con el tiempo (Yurtseven *et al.* 2021). En contraste, se encontró que el efecto de la edad en el color de la yema en el presente estudio fue insignificante. El color de la yema se afectó debido a la dieta de las aves, principalmente por la presencia de xantofilas, lo que resulta en variaciones en la intensidad del color de la yema (Lordelo *et al.* 2017).

Conclusiones

Excepto por el consumo de alimento, los niveles crecientes de sustitución de lupino, descascarado y tratado con calor, no afectaron las variables de producción de huevos ni la eficiencia en la utilización del alimento. Las observaciones actuales sugieren que incorporar lupino, descascarado y tratado con calor, en las dietas de gallinas ponedoras puede ser beneficioso cuando se utiliza como sustituto de hasta el 18 % de la harina de soja. Este estudio destaca, además, la importancia de tratar con calor y descascarar la semilla de lupino para mejorar su valor nutritivo y palatabilidad.

Agradecimientos

Los autores desean reconocer la contribución del fallecido prof. Tegene Negesse por haber brindado orientación esencial durante la preparación de la propuesta y la primera fase del experimento. El primer autor también quiere agradecer a la Universidad Selale por concederle un permiso de estudio con salario completo.

Referencias

Abraham, E.M., Ioannis, G., Panagiotis, M., Athanasios, M., Photini, M., Irini, N., Zoi, P., Alexios, P., Eleni, T. & Dimitrios, V. (2019). The Use of Lupin as a Source of Protein in Animal Feeding: Genomic Tools and Breeding Approaches. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(4): 851, ISSN: 1422-0067. <https://doi.org/10.3390/ijms20040851>.

Alo, E.T., Daramola, J.O., Wheto M. & Oke, O.E. (2024). Impact of broiler breeder hens' age and egg storage on egg quality, embryonic development, and hatching traits of FUNAAB-alpha chickens. *Poultry Science*, 103: 103313, ISSN: 1525-3171. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103313>.

Al-Amrousi, E.F., Badr, A.N., Abdel-Razek, A.G., Gromadzka, K., Drzewiecka, K. & Hassanein, M.M. (2022). A comprehensive study of lupin seed oils and the roasting effect on their chemical and biological activity. *Plants*, 11(17): 2301, ISSN: 2223-7747. <https://doi.org/10.3390/plants11172301>.

Al-Sagan, A.A., Al-Yemni, A.H., Al-Abdullatif, A.A., Attia, Y.A. & Hussein, E.O.S. (2020). Effects of different dietary levels of blue lupine (*Lupinus angustifolius*) seed meal with or without probiotics on the performance, carcass criteria, immune organs, and gut morphology of broiler chickens. *Frontiers in Veterinary Science*, 7: 124, ISSN: 2297-1769. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00124>.

Amir, R., Han, T. & Ma, F. (2012). Bioengineering approaches to improve the nutritional values of seeds by increasing their methionine content. *Molecular Breeding*, 29(4): 915-924, ISSN: 1572-9788. <https://doi.org/10.1007/s11032-011-9690-7>.

Andrianova, E.N., Egorov, I.A., Grigor'eva, E.N., Shevyakov, A.N. & Pronin, V.V. (2019). Lupine is applicable in diets for layer chicken of parental flock. *Agricultural Biology*, 54(2): 326-336, ISSN: 2412-0324. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2019.2.326eng>.

AOAC. (1995). Official Methods of Analysis the Association of Official Analytical Chemists, 16th edn., Arlington, VA, USA.

Ayalew, D.B., Abera, B.D. & Adiss, Y.L. (2024). Effect of roasting temperature and soaking time on the nutritional, antinutritional and sensory properties of protein-based meat analogue from lupine. *Heliyon*, 10(13), ISSN: 2405-8440. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33122>.

Chung, S.H. & Lee, K.W. (2014). Effect of hen age, storage duration and temperature on egg quality in laying hens. *International Journal of Poultry Science*, 13: 634-636, ISSN: 1994-7992. <https://doi.org/10.3923/ijps.2014.634.636>.

Dida, A. & Melesse, A. (2024). Response of broiler chickens to raw, heat-treated and heat-treated dehulled sweet lupin seed (*Lupinus angustifolius*) meals on feed intake, growth and carcass performances. *EUREKA: Life Sciences*, 1: 22-31, ISSN: 2504-5695. <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2024.003317>.

Eisen, E.J., Bohren, B.B. & McKean, H.E. (1962). The Haugh unit as a measure of egg albumen quality. *Poultry Science*, 41: 1461-1468, ISSN: 1525-3171. <https://doi.org/10.3382/ps.0411461>.

Ferchichi, N., Toukabri, W., Vrhovsek, U., Nouairi, I., Angeli, A., Masuero, D., Mhamdi, R. & Trabelsi, D. (2021). Proximate composition, lipid and phenolic profiles, and antioxidant activity of different ecotypes of *Lupinus albus*, *Lupinus luteus* and *Lupinus angustifolius*. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15: 1241-1257, ISSN: 2193-4134. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00722-8>.

- Jeroch, H., Kozłowski, K., Schöne, F. & Zduńczyk, Z. (2016). Lupines (*Lupinus* spp.) as a protein feedstuff for poultry. 1) Varieties, composition and nutritional values for poultry. *European Poultry Science*, 80(125), ISSN: 1612-9199. <http://dx.doi.org/10.1399/eps.2016.125>.
- Juodka, R., Nainiene, R., Juskiene, V., Juska, R., Stuoge, I. & Leikus, R. (2017). Effects of different amounts of blue lupine (*L. angustifolius* L.) in the diets of heavy-type turkeys on their growth rate, carcass and meat qualities. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, 19 (spec): 117-124, ISSN: 1806-9061. <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2016-0240>.
- Kaspruwicz-Potocka, M., Zaworska, A., Kaczmarek, S.A. & Rutkowski, A. (2016). The nutritional value of narrow-leaved lupine (*Lupinus angustifolius*) for fattening pigs. *Archives of Animal Nutrition*, 70(3): 209-223, ISSN: 1477-2817. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2016.1150238>.
- Kponouglo, K., Koné, G.A., Good, M., Grosset, N., Gautier, M. & Kouba, M. (2024). Effect of using germinated and fermented lupin and oats as a dietary protein source on laying hen performance and egg quality. *Agriculture*, 14(11): 1942, ISSN: 2077-0472. <https://doi.org/10.3390/agriculture14111942>.
- Kowalska, E., Kucharska-Gaca, J., Kuźniacka, J., Lewko, L., Gornowicz, E., Biesek, J. & Adamski, M. (2020). Quality of eggs, concentration of lysozyme in albumen, and fatty acids in yolk in relation to blue lupin-rich diet and production cycle. *Animals*, 10(4): 735, ISSN: 2076-2615. <https://doi.org/10.3390/ani10040735>.
- Kowalska, E., Kucharska-Gaca, J., Kuźniacka, J., Lewko, L., Gornowicz, E., Biesek, J., & Adamski, M. (2021). Egg quality depending on the diet with different sources of protein and age of the hens. *Scientific Reports*, 11(1): 2638, ISSN: 2045-2322. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82313-1>.
- Kraus, A., Zita, L. & Krunt, O. (2019). The effect of different housing system on quality parameters of eggs in relationship to the age in brown egg-laying hens. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 25(6): 1246-1253, ISSN: 2534-983X. <http://www.agrojournal.org>.
- Kraus, A., Zita, L., Krunt, O., Härtlová, H. & Chmelíková, E. (2021). Determination of selected biochemical parameters in blood serum and egg quality of Czech and Slovak native hens depending on the housing system and hen age. *Poultry Science*, 100(2): 1142-1153, ISSN: 1525-3171. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.10.039>.
- Laudadio, V. & Tufarelli, V. (2011). Influence of substituting dietary soybean meal for dehulled-micronized lupin (*Lupinus albus* cv. Multitalia) on early phase laying hens' production and egg quality. *Livestock Science*, 140(1-3): 184-188, ISSN: 1878-0490. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.03.029>.
- Lee, M.R., Parkinson, S., Fleming, H.R., Theobald, V.J., Leemans, D.K. & Burgess, T. (2016a). The potential of blue lupins as a protein source, in the diets of laying hens. *Veterinary and Animal Science*, 1: 29-35, ISSN: 2451-943X. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2016.11.004>.
- Lee, M.H., Cho, E.J., Choi, E.S., Bang, M.H. & Sohn, S.H. (2016b). The effect of hen age on egg quality in commercial layer. *Korean Journal of Poultry Science*, 43(4): 253-261, ISSN: 2287-5387. <http://dx.doi.org/10.5536/KJPS.2016.43.4.253>.
- Lim, C.I. & Choi, N.J. (2023). Effect of lupin (*Lupinus angustifolius*) as a soybean meal replacement on the performance, meat quality, and blood parameters of broilers. *Canadian Journal of Animal Science*, 103(2): 167-173, ISSN: 1918-1825. <https://dx.doi.org/10.1139/CJAS-2022-0104>.
- Lordelo, M., Fernandes, E., Bessa, R.J.B. & Alves, S.P. (2017). Quality of eggs from different laying hen production systems, from indigenous breeds and specialty eggs. *Poultry Science*, 96(5): 1485-1491, ISSN: 1525-3171. <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pew409>.
- Mabusela, S.P., Nkukwana, T.T., Mokoma, M. & Muchenje, V. (2018). Layer performance, fatty acid profile and the quality of eggs from hens supplemented with *Moringa oleifera* whole seed meal. *South African Journal of Animal Science*, 48(2): 234-243, ISSN: 2221-4062. <https://doi.org/10.4314/sajas.v48i2.4>.
- Manyeula, F., Sebolai, B., Sempule, G. & Moreki, J.C. (2021). Effects of broiler breeders' Age on egg quality characteristics and their correlation coefficients. *Journal of World's Poultry Research*, 11(3): 368-375, ISSN: 2322-455X. <https://dx.doi.org/10.36380/jwpr.2021.44>.
- Melesse, A., Ganebo, G. & Abebe, A. (2019). Substitution effect of noug seed (*Guzoitia abyssinica*) cake with various levels of samma (*Urtica simensis* S.) leaf meal on egg production and egg quality parameters of commercial layer hen. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 9 (4): 727-735, ISSN: 2251-631X. <http://ijas.iaurasht.ac.ir>.
- Narushin, V.G., Romanov, M.N. & Griffin, D.K. (2021a). Non-destructive measurement of chicken egg characteristics: Improved formulae for calculating egg volume and surface area. *Biosystems Engineering*, 201: 42-49, ISSN: 1537-5129. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.11.006>.
- Narushin, V.G., Romanov, M.N. & Griffin, D.K. (2021b). A novel egg quality index as an alternative to Haugh unit score. *Journal of Food Engineering*, 289: 110176, ISSN: 1873-5770. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110176>.
- Park, J.H., Lee, S.I. & Kim, I.H. (2016). Effects of lupin seed supplementation on egg production performance, and qualitative egg traits in laying hens. *Veterinárni Medicina*, 61(12): 701-709, ISSN: 1805-9392. <https://doi.org/10.17221/330/2014-VETMED>.

- Pham, H.D., Siddik, M.A., Fotedar, R., Chaklader, M.R., Foysal, M.J., Nguyen, C.M. & Munilkumar, S. (2020). Substituting fishmeal with lupin *Lupinus angustifolius* kernel meal in the diets of cobia *Rachycentron canadum*: Effects on growth performance, nutrient utilization, haemato-physiological response, and intestinal health. *Animal Feed Science and Technology*, 267: 114556, ISSN: 1873-2216. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114556>.
- Roman, L., Tsochatzis, E., Tarin, K., Røndahl, E.M., Ottosen, C.O. & Corredig, M. (2023). Compositional attributes of blue lupin (*Lupinus angustifolius*) seeds for selection of high-protein cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(45): 17308-17320, ISSN: 1520-5118. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c04804>.
- Rutkowski, A., Hejdysz, M., Kaczmarek, S., Adamski, M., Nowaczewski, S. & Jamroz, D. (2017). The effect of addition of yellow lupin seeds (*Lupinus luteus* L.) to laying hen diets on performance and egg quality parameters. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 26(3): 247-256, ISSN: 2719-8448. <https://doi.org/10.22358/jafs/76322/2017>.
- Sam, I.M. (2023). The influence of Isa Brown laying hen age on egg quality in humid tropics. *Animal Research International*, 20(2): 4966-4972, ISSN: 1597-3115. <https://oaji.net>.
- Siger, A., Grygier, A. & Czubinski, J. (2023). Comprehensive characteristics of lipid fraction as a distinguishing factor of three lupin seed species. *Journal of Food Composition and Analysis*, 115: 104945, ISSN: 1096-0481. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104945>.
- Statistical Analysis System (SAS). (2016). Statistical Analysis System, Ver. 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Straková, E., Všeticková, L., Kutlvašr, M., Timová, I. & Suchý, P. (2021). Beneficial effects of substituting soybean meal for white lupin (*Lupinus albus*, cv. Zulika) meal on the biochemical blood parameters of laying hens. *Italian Journal of Animal Science*, 20(1): 352-358, ISSN: 1828-051X. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2021.1884006>.
- Struti, D.I., Bunea, A., Pop, I.M., Păpuc, T.A. & Mierliță, D.P. (2021). The influence of dehulling on the nutritional quality of lupine seeds (*Lupinus albus* L.) and the effect of their use in the feed of laying quails on the live performance and quality of eggs. *Animals*, 11(10): 2898, ISSN: 2076-2615. <https://doi.org/10.3390/Struți/ani11102898>.
- Struti, D.I., Mierlita, D., Simeanu, D., Pop, I.M., Socol, C.T., Papuc, T. & Macri, A.M. (2020). The effect of dehulling lupine seeds (*Lupinus albus* L.) from low-alkaloid varieties on the chemical composition and fatty acids content. *Revista de ChiMie-Bucharest*, 71(4): 59-70, ISSN: 2668-8212. <https://doi.org/10.37358/Rev>.
- Tadele, Y. (2015). White lupin (*Lupinus albus*) grain, a potential source of protein for ruminants: A review. *Research Journal of Agricultural and Environmental Management*, 4: 180-188, ISSN: 2315-8719. <http://www.apexjournal.org>.
- Tainika, B., Şekeroğlu, A., Akyol, A., Şentürk, Y.E., Abacı, S.H. & Duman, M. (2024). Effects of age, housing environment, and strain on physical egg quality parameters of laying hens. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 26(03): 001-014, ISSN: 1806-9061. eRBCA-2024. <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9061-2024-1911>.
- Timová, I., Straková, E., Všeticková, L. & Suchý, P. (2020). Impact of feeding mixture containing lupin meal on improvement of polyunsaturated fatty acids in egg yolk. *Czech Journal of Animal Science*, 65(08): 311-321, ISSN: 1805-9309. <https://doi.org/10.17221/87/2020-CJAS>.
- Tolimir, N., Maslovaric, M., Skrbic, Z., Lukic, M., Rajkovic, B. & Radisic R. (2017). Consumer criteria for purchasing eggs and the quality of eggs in the markets of the city of Belgrade. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 33(4): 425-437, ISSN: 2217-7140. <https://doi.org/10.2298/BAH1704425T>.
- Uzun, T. & Agma Okur, A. (2023). Impacts of different processes on the nutritional and antinutritional contents of white and blue lupin seeds and usage possibilities for sustainable poultry production. *Animals*, 13(22): 3496, ISSN: 2076-2615. <https://doi.org/10.3390/ani13223496>.
- Wiseman, J. (1987). Meeting nutritional requirements from available resources. In: J. Wiseman (Ed). *Feeding of Non-Ruminant Animals*. Butterworth and C. Ltd. London, UK. pp. 132.
- Yurtseven, E.P., Şekeroğlu, A., Tainika, B., Duman, M. & Şentürk, Y.E. (2021). Effect of production system and age on egg quality parameters: A case of Niğde Province Çamardı District, Turkey. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 9(8): 1407-1412, ISSN: 2148-127X. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v9i8.1407-1412.4241>.