

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**EVALUACIÓN NUTRICIONAL Y FUNCIONAL DE LA HARINA DE
CAMELINA (*CAMELINA SATIVA L. CRANTZ*) EN LA DIETA DE GALLINAS
PONEDORAS EN LA PERFORMANCE, CALIDAD TECNOLÓGICA Y
FUNCIONAL DEL HUEVO**

por

Agustín SOUZA CASTRO

**Trabajo final de grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

MONTEVIDEO

URUGUAY

2026

Este Trabajo Final de Grado se distribuye bajo licencia
“Creative Commons **Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada**”.



PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Mag. Ayrton da Silva

Director/a:

Dra. María Cristina Cabrera

Co-director

Dr. Ali Saadoun

Tribunal:

Mag. Ayrton da Silva

Dra. Marta del Puerto

Dra. Andrea Álvarez

Fecha:

6 de julio de 2026

Estudiante:

Agustín Souza Castro

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia y amigos por el acompañamiento a lo largo de todo el proceso.

A mis tutores MSc. Ayrton da Silva, Dra. Cristina Cabrera y cotutor Dr. Ali Saadoun por su compromiso y dedicación.

A todos los compañeros del laboratorio del cual pertenezco en especial a Carmen Figarola y Pablo Flaksbard por su ayuda en este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	3
AGRADECIMIENTOS	4
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	7
RESUMEN.....	8
ABSTRACT	9
1. INTRODUCCIÓN	10
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1 Producción de huevos y su interés como alimento en un contexto de evolución del consumo	11
2.2 Base alimentaria de las aves de producción de huevos	12
2.3 Estrategia nutricional basada en alternativas a la soja: <i>Camelina sativa</i> y su potencial en la alimentación animal	13
2.3.1 Características agronómicas de particular interés.....	14
2.3.2 Impacto ambiental y sostenibilidad del cultivo	15
2.3.3 Factores antinutricionales presentes en la camelina.....	16
2.4 Productos de la <i>Camelina sativa</i>	18
2.4.1 Aceite.....	18
2.4.2 Torta y harina de camelina	19
2.5 Usos de la Camelina en la producción animal	20
2.6 La camelina como aporte de componentes bioactivos: antioxidantes	22
2.6.1 Polifenoles	22
2.6.2 Flavonoides.....	23
2.7 Biomarcadores del estatus antioxidante en las aves	24
2.8 Indicadores de la calidad de huevo.....	24
2.8.1 Color de yema.....	25
2.8.2 Altura de clara.....	25
2.8.3 Espesor de la cáscara de huevo.....	25
3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	27
3.1 Hipótesis	27
3.2 Objetivo general	27
3.3 Objetivos específicos.....	27
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	28

4.1 Caracterización proximal y nutricional de la harina de camelina utilizada	28
4.2 Animales y dietas	29
4.3 Determinación de los parámetros de respuesta animal	32
4.4 Determinación de la calidad interna del huevo	32
4.5 Determinación de los parámetros de calidad externa	35
4.6 Determinación de polifenoles y flavonoides.....	36
4.7 Determinaciones del estatus oxidativo del plasma (TBARS).....	39
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
5.1 Características nutricionales de la camelina	40
5.2 Consumo, producción de huevos y peso de huevo.....	43
5.3 Calidad interna y externa del huevo	47
5.3.1 Color.....	47
5.3.2 Peso de yema y clara, Unidades Haugh	49
5.3.3 Calidad externa del huevo	50
5.4 Polifenoles y Flavonoides en la yema	52
5.5 Estatus oxidativo del plasma: TBARS plasmático	55
6. CONCLUSIÓN.....	57
7. BIBLIOGRAFÍA	58

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla n.

Tabla 1	<i>Composición química de los subproductos de leguminosas, en % de la MS ...</i>	20
Tabla 2	<i>Composición de las dietas experimentales con 0, 5, 10 y 15 % camelina</i>	31
Tabla 3	<i>Clasificación de la calidad del huevo según la Unidad Haugh.....</i>	33
Tabla 4	<i>Composición proximal y nutricional de la harina de camelina usada en el protocolo experimental</i>	42
Tabla 5	<i>Efecto de la camelina sobre polifenoles y flavonoides de las dietas.....</i>	43
Tabla 6	<i>Efectos principales de dieta y semana sobre el consumo (g/ave)</i>	44
Tabla 7	<i>Efectos de dieta, semana e interacción sobre el porcentaje de postura.....</i>	45
Tabla 8	<i>Efectos de dieta, semana e interacción sobre el peso del huevo</i>	46
Tabla 9	<i>Efecto de la camelina y el muestreo sobre el color de yema</i>	47
Tabla 10	<i>Efecto de la camelina y el muestreo sobre parámetros CIELab de yema</i>	48
Tabla 11	<i>Efecto de la camelina sobre la calidad interna del huevo.....</i>	51
Tabla 12	<i>Efecto de la camelina sobre la calidad externa del huevo</i>	52

Figura n.

Figura 1	<i>Tipos de Polifenoles.....</i>	23
Figura 2	<i>Gallinas alojadas en las jaulas experimentales por dieta</i>	29
Figura 3	<i>Medición de la Unidad Haugh mediante micrómetro y evaluación del color con colorímetro.....</i>	34
Figura 4	<i>Yemas y claras en recipientes y bolsas individuales.....</i>	35
Figura 5	<i>Secado de cáscaras en estufa y medición de espesor mediante micrómetro .</i>	36
Figura 6	<i>Extractos etanólicos y metanólicos de harina de camelina</i>	36
Figura 7	<i>Proceso de filtrado de yemas de huevo con solvente etanol</i>	38
Figura 8	<i>Evolución semanal del consumo con 0, 5, 10 y 15 % camelina</i>	44
Figura 9	<i>Porcentaje de postura con niveles crecientes de harina camelina por semana</i>	45
Figura 10	<i>Evolución semanal del peso del huevo con 0, 5, 10 y 15 % camelina</i>	46
Figura 11	<i>Contenido de polifenoles expresados en mg GAE/g de yema en huevos frescos y conservados.....</i>	53
Figura 12	<i>Contenido de flavonoides expresados en mg quercetina /g de yema en huevos frescos y conservados.....</i>	53
Figura 13	<i>Contenido plasmático de MDA en aves alimentadas con camelina</i>	56

RESUMEN

La producción avícola de huevos ha experimentado importantes avances en las últimas décadas debido a la selección genética y mejor manejo productivo, alargando el ciclo productivo a más de 80 semanas. Sin embargo, el límite alcanzado en los parámetros productivos, así como la mayor edad de las aves, incrementan el interés por estrategias nutricionales, que optimicen el rendimiento, la salud y la calidad del huevo. En este contexto, la búsqueda de alternativas a la harina de soja ha cobrado relevancia debido a su impacto ambiental, su competencia con la alimentación humana y su incidencia en los costos de producción. La *Camelina sativa*, un cultivo oleaginoso con elevado contenido de proteína, ácidos grasos insaturados y compuestos bioactivos, cuyo subproducto industrial es la harina de camelina, presenta el potencial como ingrediente alternativo a la soja. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la inclusión de harina de *Camelina sativa* (Harina de Camelina) en dietas para gallinas ponedoras sobre los parámetros productivos, calidad del huevo y estatus antioxidante del ave. Se utilizaron 56 gallinas ponedoras de la línea Novogen Brown de 81 semanas de edad, distribuidas en cuatro dietas con diferentes niveles de inclusión de Harina de Camelina (0, 5, 10 y 15 %). Durante un período experimental de 28 días se registró el consumo de alimento/ave/día, la postura/gallina/día y el peso de huevo. Asimismo, se evaluó la calidad interna y externa del huevo, el contenido de compuestos fenólicos y flavonoides en la yema y estatus oxidativo plasmático mediante TBARS. Los resultados indicaron que la inclusión de harina de camelina entre 5 y 10% mejoró levemente el consumo de alimento y peso de huevo. Niveles más altos incrementaron el contenido de polifenoles y flavonoides en la yema, fresca y conservada, y redujeron los niveles de MDA plasmático. Sin embargo, la dosis de 15% redujo significativamente el consumo de alimento y la producción de huevos. Las dosis más altas de harina de camelina se asociaron a una disminución de la peroxidación lipídica plasmática. Estos resultados sugieren que la harina de camelina en dosis moderadas es una alternativa viable a la harina de soja en la alimentación de las gallinas ponedoras, contribuyendo a la diversificación de las fuentes proteicas y a la producción de huevos con mayor valor nutricional.

Palabras clave: Camelina, ponedoras, nutrición, calidad de huevo, antioxidantes

ABSTRACT

Egg production has undergone significant advances in recent decades due to genetic selection and improved management practices, extending the productive cycle to more than 80 weeks. However, the limits reached in productive performance, together with the increased age of laying hens, have intensified interest in nutritional strategies aimed at optimizing performance, health, and egg quality. In this context, the search for alternatives to soybean meal has gained importance due to its environmental impact, competition with human food use, and contribution to production costs. *Camelina sativa*, an oilseed crop with a high content of protein, unsaturated fatty acids, and bioactive compounds, and particularly its industrial by-product camelina meal, has potential as an alternative ingredient to soybean meal. The aim of this study was to evaluate the effect of including camelina meal in laying hen diets on productive performance, egg quality, and antioxidant status. A total of 56 Novogen Brown laying hens, 81 weeks of age, were allocated to four dietary treatments with different inclusion levels of camelina meal (0, 5, 10, and 15%). During a 28-day experimental period, feed intake per hen per day, egg production, and egg weight were recorded. In addition, internal and external egg quality, yolk phenolic and flavonoid content, and plasma oxidative status using TBARS as an indicator of lipid peroxidation were evaluated. The results showed that camelina meal inclusion at 5–10% tended to improve feed intake and egg weight. Higher inclusion levels increased the concentration of polyphenols and flavonoids in both fresh and stored egg yolks, while reducing plasma malondialdehyde (MDA) levels. However, the 15% inclusion level significantly reduced feed intake and egg production. Higher levels of camelina meal were associated with a decrease in plasma lipid peroxidation. These findings suggest that moderate inclusion levels of camelina meal represent a viable alternative to soybean meal in laying hen nutrition, contributing to the diversification of protein sources and the production of eggs with enhanced nutritional value.

Keywords: Camelina, laying hens, nutrition, egg quality, antioxidants

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la producción avícola de huevo ha experimentado importantes avances impulsados por la selección genética, lo que ha permitido mejoras significativas en parámetros productivos como crecimiento, eficiencia de conversión y rendimiento, así como una prolongación del período productivo de las gallinas ponedoras, que actualmente puede superar ampliamente las 70 semanas de vida (Bain et al., 2016). Sin embargo, este progreso sostenido ha llevado a que muchos de estos caracteres se encuentren cercanos a sus límites biológicos, reduciendo el margen de mejora a través de la genética, particularmente en aves de mayor edad durante el último ciclo de producción (Gu et al., 2021).

A medida que la gallina ponedora envejece, disminuye el proceso precursor de la formación del huevo, y de la cáscara, y se da una mayor sensibilidad al estrés oxidativo (Gu et al., 2021) y estos cambios repercuten en la calidad del huevo, mayor tamaño, menor espesor de cáscara. No obstante, desde el punto de vista de la rentabilidad, se ha observado una mejora en la economía del negocio avícola (Tůmová et al., 2017). Esto es un desafío, lograr mantener la calidad a medida que las aves se acercan a las 70-90 semanas de producción y una de las hipótesis es mantener el estatus antioxidante del ave, así como su integridad intestinal (Gu et al., 2021).

En este contexto, la nutrición emerge como una herramienta clave para continuar optimizando los rendimientos productivos y la calidad del huevo (Chipana Torres & Ayme Gonzalez, 2025). La investigación en nutrición avícola se ha orientado hacia la búsqueda de ingredientes alternativos que permitan mejorar la eficiencia productiva, reducir los costos de alimentación y aportar compuestos bioactivos que mejoren el estatus antioxidante del ave e incrementen el valor nutricional del huevo (Moreno et al., 2021; van Huis et al., 2014). A continuación, presentamos una revisión de los aspectos más relevantes que hacen a la producción avícola de huevo y a las alternativas nutricionales que hacen parte de la propuesta de este Trabajo Final de Grado.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Producción de huevos y su interés como alimento en un contexto de evolución del consumo

La producción de huevos en Uruguay se mantuvo estable con una tendencia creciente entre 2017 y 2024 con valores entre 2,1 y 2,6 millones de cajas de 30 docenas, alcanzando su máximo en 2024. El consumo interno en los dos últimos años absorbió la totalidad de la producción y el consumo per cápita aumentó de 234 a 268 huevos por habitante. Las importaciones fueron bajas y fueron destinadas a cumplir demandas de consumo dado que la producción nacional no fue suficiente. Las exportaciones fueron marginales siendo en los dos últimos años cero, evidenciando un sistema orientado principalmente al autoabastecimiento del mercado interno (Oficina de Estadísticas Agropecuarias [DIEA], 2025).

El huevo es un alimento de consumo ampliamente difundido, caracterizado por una alta densidad nutricional, su excelente relación calidad-precio y su gran versatilidad en la cocina. Su consumo continúa con incremento sostenido, donde para el año 2024 fue de 268 por habitante (DIEA, 2025). Dentro de este valor nutricional destacado, uno de los aspectos más relevantes del huevo es la calidad de sus proteínas, las cuales constituyen un criterio fundamental para evaluar su aporte a la alimentación humana. La calidad de las proteínas se valora por la puntuación de aminoácidos teniendo como referencia una ideal. En este sentido la proteína del huevo es la más elevada con una puntuación cercana a 100 ya que contiene todos los aminoácidos esenciales en equilibrio (López-Sobaler et al., 2017).

La Organización Mundial de la Salud las propuso como patrón de referencia para determinar la calidad proteica de otros alimentos (Astiasarán & Martínez, 2000). En cuanto a las grasas se ha limitado erróneamente su consumo debido al contenido de colesterol que posee (200mg), pero cada vez hay más evidencia que tiene nula influencia sobre los niveles de colesterol sérico y se evidenció que no hay una relación directa entre el contenido de colesterol de los alimentos y el riesgo cardiovascular (Carbajal Azcona, 2005).

Además, estudios epidemiológicos evidencian que los consumidores de huevos habituales tenían mayor probabilidad de alcanzar los niveles recomendados de micronutrientes que los que no consumen. El consumo se asoció a mayor ingesta de proteínas, grasas saturadas, grasas mono y poliinsaturadas, Fe, Zn, Ca, Se, colina y varias otras vitaminas y minerales (Melough et al., 2019). Así como poseer pigmentos carotenoides como luteína y zeaxantina con actividad antioxidante asociados a efectos beneficiosos para la salud ocular al proteger la retina del daño oxidativo y reducir el riesgo de degeneración macular (Aparicio et al., 2018).

2.2 Base alimentaria de las aves de producción de huevos

Uno de los desafíos que enfrenta la producción de huevos es el manejo de la nutrición en gallinas, resultando en el principal coste de producción en las explotaciones y juega un papel importante en la sostenibilidad ambiental del sector (Suay Costa, 2019). En la producción intensiva de monogástricos el impacto ambiental del sector se relaciona fuertemente con las materias primas utilizadas para los piensos, siendo la elección de los ingredientes un factor determinante. Las proteínas constituyen los ingredientes más costosos y uno de los principales factores limitantes en la formulación de alimentos balanceados (Parisi et al., 2020).

El principal alimento proteico para la elaboración de raciones en Uruguay es la soja. La soja (*Glycine max*) es una planta herbácea anual estival, domesticada en la mitad oriental de China entre los siglos VII y XI aC y es considerada uno de los cultivos más antiguos. Perteneció a la familia de las leguminosas, y su ciclo tiene un rango de 70 a 200 días (Blum et al., 2008). Según la DIEA (2025), la superficie sembrada se estimó en 1.229.235 hectáreas siendo el valor máximo registrado para el cultivo, resultando en una producción total para la cosecha 2024/25 de 3.836.558 toneladas, siendo récord histórico. Sin embargo, este cultivo está ligado a una serie de inconvenientes que podrían afectar su sostenibilidad en un futuro.

En Europa debido a la limitada superficie, el crecimiento por la demanda de soja aumenta y llevó a cambios en el uso del suelo a nivel mundial y se vinculó directamente a la deforestación en Sudamérica que incrementó la huella de carbono en los piensos (Parrini et al., 2023). En Uruguay gran parte de la soja que se produce es transgénica, siendo además parte de un paquete tecnológico que incluye siembra directa, como el uso

de insecticidas, lo cual genera limitaciones a la hora de pensar en productos de corte agroecológico y puede esto limitar mercados (Paarlberg, 2014), por estar asociados a efectos negativos en la salud (Parven et al., 2025), además de algunos impactos a nivel de pérdida de suelo pastoril y sostenibilidad ambiental (Soutullo et al., 2020). El cultivo de soja tiene altos requerimientos de agua (450-700 mm) por hectárea y por temporada. Asimismo, la variabilidad climática, la recurrencia de eventos de sequía, ha intensificado estas limitaciones, generando inestabilidad tanto en la disponibilidad como en los costos de producción (Jooshakipour et al., 2025). Además, debe considerarse que los cereales y las oleaginosas comúnmente utilizados en la formulación de piensos compiten directamente con la alimentación humana, por lo que, en contextos de limitación de recursos, su disponibilidad para la nutrición animal tenderá a disminuir (Wilkinson, 2011).

La implementación de estrategias nutricionales que incluyan materias primas alternativas en la alimentación animal, como coproductos de la agroindustria, puede disminuir la competencia con insumos destinados al consumo humano y favorecer sistemas de producción de carne más sostenibles. Asimismo, la utilización de estos ingredientes alternativos contribuiría a reducir los costos de alimentación y a mejorar la rentabilidad, especialmente en los sectores porcino y avícola, donde la alimentación representa aproximadamente entre el 60 y el 70 % del costo total de producción (Pérez-Palencia & Bolívar-Sierra, 2023).

2.3 Estrategia nutricional basada en alternativas a la soja: *Camelina sativa* y su potencial en la alimentación animal

En este contexto la sustitución parcial de harina de soja por otras fuentes proteicas se presenta como estrategia potencial para mejorar la sostenibilidad siempre y cuando cumplan los requerimientos de nutrientes, productividad y digestibilidad (Lanza et al., 2025). La fuente alternativa de proteína debe presentar un costo accesible, ser viable desde el punto de vista agronómico y atractiva para los productores, alineándose con los consumidores en materia de sostenibilidad (Tallaksen et al., 2025).

Entre otras, la camelina, puede surgir como una estrategia prometedora para mitigar los gastos de producción, contribuir a la sostenibilidad ambiental y mejorar la gestión de los recursos hídricos. Uno de los candidatos para la sostenibilidad de los

agroecosistemas es la introducción de *Camelina sativa*, una planta anual, de la familia de las *Brassicaceae*, genera un fruto pequeño en forma de vaina, llamada silicua con semillas en su interior. Tiene una elevada resistencia a la sequía y sus requerimientos de cultivos son bajos, siendo así una buena alternativa frente a otros cultivos de secano (Delgado et al., 2016).

Es originaria del norte de Europa y Asia Central (Guendouz et al., 2022). El cultivo se remonta al año 600 a.C. y su principal uso fue para la iluminación, mediante la combustión de su aceite en lámparas (Venegas Ponce, 2018). Fue cultivada en Europa durante siglos como fuente de aceite comestible y tuvo aplicaciones en la medicina hasta que su uso a partir de 1950 disminuyó como consecuencia de la introducción de otros cultivos oleaginosos de mayor rendimiento.

Es conocida también, como oro del placer, falso lino, lino silvestre o sésamo alemán. Sus semillas presentan un alto contenido de aceite (30–48 %) y de proteínas (33–47 %), además de micronutrientes de interés, lo que le confiere un valor relevante para aplicaciones nutricionales e industriales (Guendouz et al., 2022). Su principal destino es la producción de aceite para biocombustible, en particular para la aviación y con potencial para reducir las emisiones de efecto invernadero en comparación con los combustibles fósiles tradicionales (Angelini et al., 2020). Su aceite puede convertirse en combustible y productos aceitosos de valor y su harina es rica en proteína y puede utilizarse para la alimentación animal pudiendo utilizarse en rotaciones de cultivo (Tallaksen et al., 2025).

2.3.1 Características agronómicas de particular interés

La camelina se adapta a diversas condiciones climáticas y suelos siendo altamente resistente a enfermedades y plagas, así como a condiciones de escasez temporal de agua en el suelo. Los requerimientos hídricos promedio de la camelina se sitúan entre 350 y 500 mm anuales. En condiciones óptimas, aproximadamente 150 mm de agua son necesarios durante la fase vegetativa, mientras que alrededor de 200 mm se requieren en el período reproductivo (Moser, 2010). Es una especie autopolinizante con bajas tasas de cruzamiento (Vollmann & Eynck, 2015).

Es un cultivo invernal de crecimiento rápido, alcanzando los 65 y 110 cm en su ciclo de producción (Salas Olive, 2020). Puede cultivarse en suelos pobres y no requiere

fertilización intensiva y en amplio rango de pH prefiriendo suelos bien drenados con un pH que oscila entre 5,5 y 8,0 (Ghidoli et al., 2023). Se posiciona como una alternativa adecuada para la diversificación de sistemas productivos. Debido a su ciclo corto, la cosecha se realiza entre 70 y 250 días posteriores a la siembra, dependiendo de si se trata de cultivos de primavera o de invierno (Masella et al., 2014).

Este cultivo presenta un requerimiento térmico aproximado de 2.900 grados-día (GDD) desde la siembra hasta la cosecha. Durante las fases vegetativas, las temperaturas óptimas se sitúan entre 10 y 24 °C. Asimismo, *Camelina sativa* muestra una elevada tolerancia a bajas temperaturas, resistiendo heladas intensas, lo que explica su amplia adaptación a regiones templadas y frías del hemisferio norte y su potencial como cultivo invernal o de entre zafra en sistemas productivos como los de Uruguay (Kakabouki et al., 2021).

La materia prima que se utiliza del cultivo industrialmente es la semilla. El producto principal es el aceite (Sydor et al., 2022). El rendimiento de grano promedio observado fue de 729 kg/ha, con máximos de 1131 kg/ha (Ferrari & Girotti, 2023), pero se reportan valores superiores de entre 1.5 y 3 toneladas/ha (Salas Olive, 2020). Los rendimientos de aceite de semilla de camelina se estiman mayores a 350 L/ha (Kakabouki et al., 2021).

2.3.2 Impacto ambiental y sostenibilidad del cultivo

Camelina sativa se perfila como un cultivo oleaginoso alternativo de bajo impacto ambiental, caracterizado por su escaso uso de insumos y su adaptación a sistemas agrícolas sostenibles. La evidencia científica destaca su menor ecotoxicidad y sus aportes a la salud del suelo y al manejo integrado de plagas frente a cultivos convencionales. El cultivo requiere menos pesticidas y fertilizantes que los cultivos convencionales de oleaginosas, lo que reduce los posibles impactos medioambientales negativos (Ghidoli et al., 2023).

Se evidenció que esta especie puede establecerse como pionera en suelos en procesos de recuperación o tierras poco aptas para la agricultura, aún en condiciones desfavorables es posible alcanzar rendimientos satisfactorios (Halecki & Klatka, 2018). En otra investigación donde se evaluó la ecotoxicidad, la camelina tuvo el menor valor

debido a sus bajos insumos para producción (la ecotoxicidad aumenta con el uso de pesticidas).

La camelina como cultivo único tuvo los valores más bajos en la mayoría las categorías de impacto, lo que indica que la fase de producción agrícola de la camelina tiene un menor impacto en el medio ambiente en comparación con el maíz y la soja en monocultivo (Berti et al., 2017). Se considera un cultivo con importante potencial para biodiesel y otras aplicaciones industriales, así como con efecto ambiental positivo ya que existe una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero del 84 % en comparación con el queroseno de petróleo (Ferrari & Girotti, 2023).

Algunas investigaciones demostraron la capacidad de *Camelina sativa* para suprimir diversos patógenos vegetales, reduciendo así la incidencia y gravedad de las enfermedades. Las plantas de camelina producen glucosinolatos, que exhiben actividades fungicidas y bactericidas. Su uso como cultivo de cobertura ha mostrado efectos positivos en la reducción de enfermedades radicales, disminución de poblaciones de patógenos del suelo y la mejora del crecimiento y rendimiento de cultivos posteriores, como maíz y soja (Ghidoli et al., 2023).

2.3.3 Factores antinutricionales presentes en la camelina

Los factores antinutricionales (FAN) son compuestos naturales de diverso origen, incluyendo proteínas como los inhibidores de tripsina y las hemoaglutininas; glucósidos como los glucosinolatos, saponinas, alcaloides, estrógenos y compuestos cianogénicos; compuestos fenólicos como taninos, gossipol; y otros compuestos como antivitaminas y aminoácidos no proteicos.

Estos factores cumplen un rol ecológico clave como mecanismo de defensa de las plantas, ya que, al no poder desplazarse frente a los depredadores, acumulan compuestos que reducen la palatabilidad o generan efectos adversos en los organismos consumidores. Los FAN dependiendo de la concentración en las raciones interfieren de manera negativa en la utilización de algunos nutrientes. Entre ellos se encuentra la reducción de la digestibilidad mediante formación de complejos con varios nutrientes, daños en la mucosa digestiva, reducción de la eficiencia digestiva, así como reducción del consumo y crecimiento (González Mateos et al., 2019).

La semilla de camelina, así como su harina tiene varias de estas sustancias antinutricionales que incluyen glucosinolatos, inhibidores de tripsina, sinapina, ácido erúxico, ácido fítico y taninos condensados. Sin embargo, los glucosinolatos y, en menor medida, los inhibidores de tripsina son los factores antinutricionales de mayor relevancia en la camelina (Moreno Díaz, 2021).

2.3.3.1 Sinapinas

La sinapina es un compuesto fenólico están presentes en las plantas para la biosíntesis de lignina y flavonoides, contribuyen al color oscuro, sabor amargo y características astringentes de la harina, por lo que podría crear problemas de palatabilidad y bajo consumo en especies monogástricas, principalmente en aves jóvenes. En semillas de colza se encuentran en niveles entre el 0,6 y 1,8 %, y fue causante del sabor a pescado de la yema de gallinas alimentadas con niveles altos de colza (González Mateos et al., 2019). La harina de camelina contiene concentraciones más bajas de sinapina (0,1–0,5 %) y, por tanto, la sinapina no provoca efectos desagradables (Russo & Reggiani, 2018).

2.3.3.2 Inhibidores de la tripsina y taninos

La harina de *Camelina sativa* presenta bajos niveles de inhibidores de tripsina y taninos. Los inhibidores de tripsina afectan la digestión proteica a concentraciones cercanas a 3 UIT (Unidades Inhibidoras de Tripsina) /mg de ración, mientras que la harina de camelina extraída con solventes contiene aproximadamente 0,00663 UIT/mg, un valor muy inferior a dicho umbral, lo que indica un bajo riesgo antinutricional en la alimentación animal (Cerisuelo et al., 2023). El nivel de taninos en camelina es de 1,1 mg/g, más bajo que los 4 mg/g en la colza (Riaz et al., 2022).

2.3.3.3 Glucosinolatos

Los glucosinolatos son amargos, astringentes y reducen la palatabilidad y el consumo de alimentos (Vargas-Rincón et al., 2013). Su toxicidad está relacionada con la generación de compuestos derivados como nitrilos, tiocianatos y oxazolidinetionas. Los nitrilos pueden alterar el funcionamiento del hígado y los riñones, mientras que los tiocianatos interfieren con la absorción y utilización del yodo. Por su parte, las

oxazolidinonas provocan modificaciones tanto estructurales como funcionales en la glándula tiroides (European Food Safety Authority [EFSA], 2008).

Se ha documentado que los cerdos son más sensibles a los glucosinolatos, con niveles de tolerancia para cerdos, rumiantes y aves de corral de 0,78, 1,5 a 4,22 y 5,4 mmol/kg, respectivamente (Tripathi & Mishra, 2007). El contenido de glucosinolatos en la harina de *Camelina sativa* dependiendo el cultivar se encuentra entre 23,10 a 37,63 mmol/kg (Delver & Smith, 2024; Riaz et al., 2022). Esto limita su inclusión directa en la dieta animal sin tratamientos previos o estrategias de formulación adecuadas. Su uso en alimentación animal requiere restricciones en los niveles de inclusión, procesos de reducción de glucosinolatos o una cuidadosa evaluación según la especie.

2.4 Productos de la *Camelina sativa*

El producto del cultivo de relevancia es su semilla a partir de ella se generan otros subproductos que son el aceite, torta y harina de camelina. Además, la paja también es una parte relevante que se utiliza para producción de biogás y compost (Krzyżaniak et al., 2020).

2.4.1 Aceite

El aceite de camelina se considera valioso principalmente por sus valores nutricionales y composición química. Es rico en ácidos grasos oleico (C18:1, 14 a 16 %), linoleico (C18:2, 15 a 23 %), alfa-linolénico (C18:3, 31 a 40 %) y eicosenoico (C20:1, 12 a 15 %). Otros ácidos grasos menores incluyen el ácido palmítico (C16:0), esteárico (C18:0) y erúcico (C22:1) (Riaz et al., 2022). Normalmente su método de extracción es mecánicamente mediante prensado en frío o en caliente o extracción con disolvente con hexano, alternativamente, se utiliza la extracción con disolventes y dióxido de carbono supercrítico (SCO₂).

Uno de los factores que dificultan su obtención es el pequeño tamaño de las semillas. En promedio, 1000 semillas pesan entre 0,8 y 2g (Berti et al., 2017). Su uso es muy variado desde su utilización para producir diésel y para la producción de combustible de aviación (Bernardo et al., 2003). Así como puede utilizarse en la industria de polímeros

petroquímicos para fabricar adhesivos, recubrimientos y resinas sensibles a la presión, lo cual fue revisado previamente (Berti et al., 2017).

También en alimentación animal hay estudios donde se incluyó aceite de camelina a la dieta de los pollos de engorde se concluyó que es un método eficiente para modificar el perfil de ácidos grasos de los lípidos de la carne de manera beneficiosa según las recomendaciones dietéticas para humanos, sin comprometer el rendimiento de crecimiento de las aves (Orczewska-Dudek & Pietras, 2019).

2.4.2 Torta y harina de camelina

La extracción de aceite de semillas oleaginosas genera como subproductos principales la cascarilla, la torta (expeller) y la harina. La torta se obtiene mediante prensado en frío y conserva un mayor contenido de extracto etéreo, mientras que la harina resulta de la extracción con solventes, proceso más eficiente que produce un subproducto con menor contenido lipídico. Tanto la harina como la torta presentan un alto contenido de proteína bruta y fibra (Peñagaricano Sosa, 2018).

La harina de camelina ha despertado un gran interés en el campo de la nutrición animal debido a su rico perfil nutricional y sus beneficios potenciales al incorporarse en la alimentación del ganado y las aves de corral. Esta sección tiene como objetivo analizar en profundidad los principales componentes nutricionales de la harina de camelina, su perfil de micronutrientes y los hallazgos de investigación relevantes que destacan su calidad nutricional.

La harina es rica en ácidos grasos esenciales, n-3 y n-6. El ácido linolénico (C18:3n-3) es el principal ácido graso n-3, constituyendo más del 29 %, mientras que el ácido linoleico (C18:2n-6) constituye hasta el 23 %. La harina de camelina contiene principalmente ácido palmítico (9 %) y ácido esteárico (2,5 %), además de un alto contenido de tocoferoles (>200 µg/g). Su proteína aporta aminoácidos esenciales, destacando lisina y metionina, habitualmente limitantes en nutrición avícola, lo que la posiciona como una fuente proteica de interés para aves. Entre los minerales, predomina el potasio, seguido de azufre, fósforo, magnesio y calcio (Cherian, 2012). En la Tabla 1 se presenta la composición química de diferentes tortas o harinas de leguminosas.

Tabla 1*Composición química de los subproductos de leguminosas, en % de la MS*

% MS	Harina Camelina	Torta Camelina	Harina Soja 44	Cascarilla Camelina	Cascarilla Soja
MS	91,5	92,8	88,1	92,1	90,0
Cenizas	5,7	4,8	5,7	5,4	4,8
PB	39,5	35,1	46,7	9,0	17,1
FB	12,3	10,2	8,4	32,3	31,9
FND	37,5	32,7	10,7	54,9	55,9
FAD	17,4	14,4	12,0	34,8	39,7
LAD	4,0	2,6	0,5	7,8	1,5
EE	1,3	13,5	2,6	5,4	5,6

Nota. MS: materia seca, PB: proteína bruta, FB: fibra bruta, FDN: fibra detergente neutro, FAD: fibra detergente ácido, LAD: lignina detergente ácido, EE: extracto etéreo. Harina de camelina extraída con hexano. Torta de camelina extraída por presión. Adaptado de Salas et al. (2017).

También se evaluó la digestibilidad y los valores indican que, si bien la camelina presenta un contenido elevado de proteína, su aprovechamiento puede verse moderado por la presencia de fibra y compuestos antinutricionales. Sin embargo, luego de la soja con 73,5 % de digestibilidad de la materia seca le siguió la harina de camelina con 65,4 % (Salas et al., 2017).

2.5 Usos de la Camelina en la producción animal

En diferentes especies productivas se ha reportado el uso de la harina de camelina con diferentes resultados, en rumiantes, Lawrence et al. (2016) reportaron su posible uso como fuente proteica al 10% en vaquillonas. En otra investigación en vacas lecheras se halló una mayor cantidad de polifenoles en el plasma (Chedea et al., 2014). Así como también se mejoró significativamente el perfil de ácidos grasos de la leche y produjo una manteca más blanda y untuosa (Hurtaud & Peyraud, 2007).

En monogástricos, Smit y Beltranena (2017) evaluaron la inclusión de torta en dietas para cerdos destetados. Los mayores niveles de inclusión modificaron la ganancia diaria de peso, y el consumo, resultando en menor peso final, aunque la conversión

alimenticia no se modificó. Lo mismo hallaron Zhu et al. (2021) y Luise et al. (2024) donde además observó una mejora en la diversidad de la microbiota intestinal.

En aves, particularmente, si bien existe un creciente número de investigaciones sobre el uso de *Camelina sativa* en dietas para aves, se han centrado predominantemente en pollos de engorde, siendo más limitado su análisis en ponedoras. En pavos, Frame et al. (2007) indicaron que la harina de camelina puede incorporarse hasta un 5 % sin comprometer el desempeño productivo ya que niveles de 15–20 % redujeron el crecimiento y empeoraron la conversión alimenticia.

Aziza et al. (2010) analizaron la inclusión de harina de *Camelina sativa* (0, 2,5, 5 y 10 %) durante 42 días en pollos de engorde. En la fase inicial (1–21 días) la eficiencia alimenticia disminuyó linealmente con el aumento del nivel de inclusión, sin embargo, no se registraron diferencias en el rendimiento global ni en el peso de la canal. Además, la suplementación incrementó significativamente el contenido de ácidos grasos n-3 en carne, hígado y tejido adiposo, reduciendo la relación n-6:n-3. Pekel et al. (2009) incorporaron 10 % de harina de camelina con o sin suplementación de cobre (150 mg/kg) durante los primeros 21 días. La inclusión redujo el peso corporal y el consumo de alimento respecto al control, mientras que la adición de cobre mejoró el desempeño productivo y algunos parámetros de la canal.

Ryhänen et al. (2007) utilizaron torta de camelina en niveles de 0, 5 y 10 % durante 37 días, observando una disminución lineal del crecimiento, del consumo y de la eficiencia alimenticia. Se incrementó de manera significativa el contenido de ácidos grasos omega-3 en la carne y se redujo la relación n-6:n-3, sin efectos adversos sobre la calidad sensorial. Por su parte, Cherian (2012) sugiere que el consumo de 100 g de carne proveniente de aves alimentadas con 10 % de harina de camelina podría aportar cantidades considerablemente mayores de ácidos grasos omega-3 en comparación con dietas convencionales a base de maíz y soja.

En gallinas ponedoras, la inclusión de harina de *Camelina sativa* (0, 5, 10, 15 %) mostró que niveles de hasta 10 % no afectaron la producción ni el peso del huevo, aunque el 15 % redujo significativamente la postura e incrementó la oxidación lipídica de la yema. A su vez, se registró un aumento del contenido de ácidos grasos n-3 y una disminución de la relación n-6:n-3, mejorando el valor nutricional del huevo (Suay Costa,

2019). En cuanto a los aspectos sensoriales, Rokka et al. (2002) no encontraron efectos sobre los atributos del huevo ni sobre sus propiedades funcionales al utilizar aceite de semilla de camelina.

2.6 La camelina como aporte de componentes bioactivos: antioxidantes

Los productos de la camelina como aceite, torta o harina contienen antioxidantes. El rol de estos antioxidantes es crucial ya que estabilizan las moléculas altamente reactivas y evitan que interactúen con componentes celulares importantes neutralizando los radicales libres mediante la donación de electrones (Londoño Londoño, 2011; Patthamakanokporn et al., 2008), de esta forma contribuyen a contrarrestar el estrés oxidativo (Avello & Suwalsky, 2006; Coronado et al., 2015).

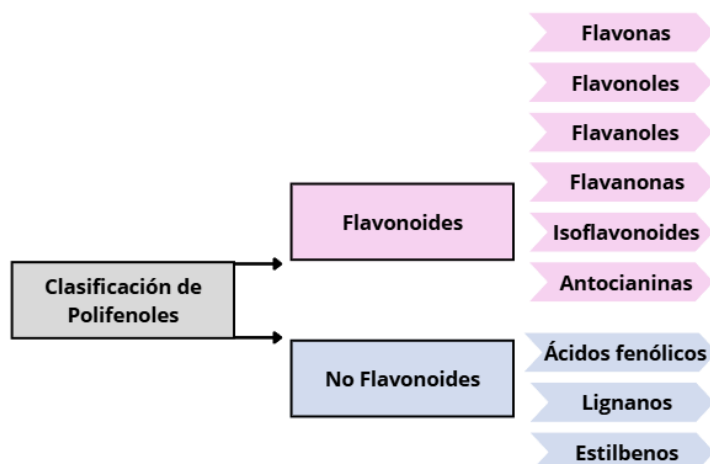
En condiciones normales hay un equilibrio entre la producción de radicales libres y los mecanismos antioxidantes, sin embargo, cuando existe una deficiencia de estos últimos o un exceso de especies reactivas, se produce un desequilibrio que conduce al daño oxidativo (Quintanar & Calderón, 2009). La industria avícola ha profundizado en la implementación de alimentos funcionales o nutraceuticos como prebióticos, probióticos y plantas medicinales, con el fin de mejorar la salud, la productividad, la respuesta inmunitaria y disminuir patógenos (Rosabal Nava et al., 2017).

Muchos estudios han avalado los efectos beneficiosos de la ingesta de antioxidantes en la dieta sobre la salud ya que ha disminuido la incidencia de ciertas enfermedades. En este contexto surgen los polifenoles y flavonoides como compuestos bioactivos de origen vegetal con destacadas propiedades antioxidantes (Mañay Maquisaca, 2019).

2.6.1 Polifenoles

Los polifenoles son moléculas naturales del metabolismo secundario de las plantas, tienen al menos un grupo hidroxilo y uno o más anillos aromáticos. Estos compuestos tienen varias funciones siendo las más importantes la capacidad antioxidante, la asimilación de nutrientes y la síntesis de proteínas (Tsao, 2010; Valencia-Avilés et al., 2017). Se clasifican en dos grandes grupos como se puede visualizar en la Figura 1 (Castro-Barquero et al., 2020).

Figura 1
Tipos de Polifenoles



Nota. Elaborado con base en Abd El-Hack et al. (2022).

Los polifenoles están presentes principalmente en alimentos de origen vegetal (Navarro González et al., 2017), actuando además como bactericidas, antimicrobianos, fungicidas y antisépticos (Cali Tixi, 2022). Los polifenoles se consideran un suplemento potencialmente beneficioso cuando se incorporan a la dieta de las aves de corral en ciertos niveles (Abd El-Hack et al., 2022). Las semillas de Camelina tienen una variedad de estos compuestos entre ellos los pertenecientes al grupo de ácidos fenólicos como el ácido sinápico, acompañado por el cafeico, t-cinámico, 4-hidroxibenzoico, clorogénico, ferúlico, gálico, p-cumárico, protocatecuico y vanílico y flavonoides (Kurasiak-Popowska et al., 2022).

2.6.2 Flavonoides

Los flavonoides son un grupo de compuestos fenólicos de origen vegetal, la mayoría son pigmentos que cubren todo el espectro de la luz visible y la ultravioleta. Muchas de las características de la planta, como el color, el olor y la resistencia están determinadas por los flavonoides (Samanta et al., 2011). Funcionan como atrayentes de insectos polinizadores, también en la regulación de genes fotosensibles e inhibiendo muchas cepas bacterianas, enzimas virales y protozoos patógenos además su toxicidad con las células animales es baja (Yugsan, 2015).

También tienen rol antioxidante actuando en la captación de especies reactivas de oxígeno, inhibiendo procesos de peroxidación lipídica y protegiendo a las células del

estrés oxidativo (Pérez, 2003). Entre los flavonoides identificados en la semilla y torta de camelina destacan la quercetina y la apigenina, rutina, luteolina, naringenina, catequina, kaempferol y vitexina que pertenecen a los subgrupos de flavonoles, flavonas, flavanonas y flavanoles. La presencia de estos compuestos bioactivos otorga a la semilla de camelina una elevada capacidad antioxidante (Kurasiak-Popowska et al., 2022; Terpinc et al., 2012).

En aves, İskender et al. (2016) demostraron que los flavonoides disminuyen la concentración de MDA y ejercen una actividad antioxidante que puede contribuir a mejorar el bienestar de las gallinas ponedoras expuestas a factores estresantes.

2.7 Biomarcadores del estatus antioxidante en las aves

Como se mencionó al inicio, la producción avícola hoy planifica el ciclo productivo a mayor edad yendo hacia las 80-90 semanas de edad y cuidando que las aves mantengan su producción y calidad. Pero en esta etapa son vulnerables al estrés oxidativo. El estrés oxidativo puede ser evaluado a través de diferentes marcadores biológicos, entre ellos la determinación de la oxidación lipídica y de la capacidad antioxidante plasmática (Souki et al., 2007). El MDA (malonaldehído) es uno de los productos principales que se forma cuando se dañan las grasas de las células, en un proceso llamado peroxidación lipídica por lo tanto es un indicador del estrés oxidativo, cuanto mayor es la concentración de MDA, mayor es el daño celular. La metodología que se usa es el ensayo espectrofotométrico de especies reactivas al tiobarbitúrico: TBARS (Yonny et al., 2016).

Se ha encontrado que el MDA en el plasma está elevado cuando se desarrollan diversas enfermedades relacionadas con daños por radicales libres, por lo cual la determinación de este biomarcador se ha aplicado ampliamente como el enfoque más común para la evaluación de la lipoperoxidación en ciencias biológicas y médicas (Mateos et al., 2005).

2.8 Indicadores de la calidad de huevo

Los estudios de la calidad del huevo asociados a cambios en las dietas implican evaluar al huevo, mediante indicadores de calidad interna como el color de la yema, altura de clara y calidad externa como el espesor de la cáscara. Cuyos resultados nos permiten

ver el efecto de la inclusión de diferentes alternativas dietarias en la producción avícola de huevo.

2.8.1 Color de yema

El color de la yema proviene de oxicarotenoides conocidos como pigmentos xantofílicos contenidos en la ración. El color es un parámetro importante para los consumidores, estos en general prefieren huevos de color amarillo y naranja, valores medios a altos en el abanico de Roche (Karunajeewa, 1984). Los pigmentos presentes en la yema, además de aportar color, cumplen un rol antioxidante y han sido relacionados con efectos beneficiosos sobre la función visual en humanos (Ribaya-Mercado & Blumberg, 2004). La inclusión de harina de camelina en la dieta de las gallinas se ha observado que puede modificar la intensidad de la pigmentación de la yema (Aziza et al., 2013; Suay Costa, 2019).

2.8.2 Altura de clara

La clara de huevo constituye aproximadamente un 60 % del peso de huevo y la frescura del huevo se puede medir a través su altura, las claras más acuosas son de menor calidad y se va perdiendo altura a través del paso de los días, cayendo muy rápido los primeros 5 días, debido a lo cual es importante la temperatura de conservación (Rosales et al., 2010). El parámetro más usado es la “Unidad Haugh” (UH) donde se encontró que la calidad del huevo varía con el logaritmo de la altura de la clara espesa (Eisen et al. 1962; Zalapa, s.f.). Cherian et al. (2009) evaluaron las UH sin encontrar diferencias significativas con la introducción de harina de camelina.

2.8.3 Espesor de la cáscara de huevo

La cáscara de huevo cumple una función esencial actuando como estructura de contención del contenido interno, además es la primera línea de defensa contra la entrada de microorganismos (Mabe et al., 2003). A través de la dieta se puede asegurar una buena calidad y desarrollo de la cáscara (Lolli et al., 2020). El espesor de la cáscara se considera una medida indirecta de calidad, porque si bien está relacionado con su estructura, no permite por sí solo evaluar la resistencia mecánica total (Roberts, 2004). Una cáscara más gruesa proporciona mayor protección frente a daños físicos durante la puesta, el manejo y transporte, reduciendo las pérdidas económicas por roturas, algunos estudios han

investigado la inclusión de harina de camelina en la dieta con resultados variables en el espesor de cáscara (Cherian et al., 2009; Kakani et al., 2012; Lolli et al., 2020).

En base a estos antecedentes y a la necesidad de estudiar la harina de camelina en la dieta de gallinas ponedoras como una alternativa a la harina de soja través de la respuesta del ave a nivel productivo, de estrés oxidativo y en el producto huevo, en este trabajo final se propone evaluar la inclusión de niveles crecientes de harina de camelina, sustituyendo parcialmente a la harina de soja, en la performance de las aves, su estatus oxidativo plasmático y la calidad tecnológica y funcional de los huevos producidos en un modelo de ave en el último tramo de la vida productiva.

3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

3.1 Hipótesis

La harina de camelina, producto resultante de la extracción de aceite, podría sustituir parcialmente a la harina de soja en la alimentación de las aves de postura e incidir positivamente en la performance productiva, calidad del huevo y en el estatus antioxidante del ave, aunque se esperaría que la inclusión máxima no superará el 15 % de la dieta.

3.2 Objetivo general

Estudiar el efecto de la inclusión de niveles crecientes de harina de camelina en la alimentación de las aves de postura de ciclo tardío, sobre los parámetros productivos, el estatus antioxidante del ave y de calidad del huevo.

3.3 Objetivos específicos

- 1) Evaluar el efecto de niveles de inclusión de 0, 5, 10 y 15 % de harina de camelina en el consumo de alimento y la producción de huevos.
- 2) Evaluar el efecto de niveles de inclusión de 0, 5, 10 y 15 % en el estatus oxidativo del plasma a través de la determinación de las sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS).
- 3) Evaluar el efecto de los niveles de inclusión de 0, 5, 10 y 15 % de harina de camelina en la calidad tecnológica y funcional del huevo, a través de las determinaciones de calidad externa e interna y de la cuantificación de polifenoles y flavonoides totales.
- 4) Determinar el nivel de inclusión adecuado considerando los parámetros productivos, el estatus antioxidante y la calidad tecnológica y funcional del huevo.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Caracterización proximal y nutricional de la harina de camelina utilizada

La harina de camelina estudiada se obtuvo por extracción del aceite con hexano. Se analizó el contenido de materia seca, cenizas, proteína, lípidos, fibras, minerales y polifenoles y flavonoides totales.

Materia seca. El contenido de materia seca se obtuvo por secado en estufa con aire forzado (Labotec, China), a 105 °C durante 48 horas, utilizando muestras pesadas en crisoles previamente tarados. Finalizado el secado, los crisoles fueron enfriados y pesados para el cálculo del porcentaje de materia seca.

Cenizas. La determinación de cenizas se realizó por incineración de las muestras secas en mufla (Thermolyne, USA) con rampa de temperatura, hasta la completa combustión de la materia orgánica. Tras el enfriamiento en desecador, se registró el peso de las cenizas para el cálculo de su porcentaje.

Proteínas. El contenido de PB se determinó por método Kjeldhal, que cuantifica el nitrógeno total y lo multiplica por un factor de conversión, x 6,25. El resultado se expresa en % de MS.

Lípidos totales. El contenido de lípidos totales o extracto etéreo (EE) se determinó mediante extracción Soxhlet, empleando hexano como solvente durante 6 horas. Posteriormente, el solvente fue eliminado en Rotavapor a 60 °C, 85 rpm, seguido de secado en estufa y reposo en desecador durante 24 horas, previo al pesaje final del residuo lipídico. El resultado se expresó en %.

Fibras. Se determinó de fibra dietética (FD), fibra detergente neutro con amilasa y corregida por cenizas (aFDNmo) y fibra detergente ácido corregida por cenizas (FDAmo). El resultado se expresó en % de la MS.

Energía Bruta. A través de la combustión de la muestra en bomba calorimétrica. El resultado se expresa en kcal EB/kg harina de camelina.

Minerales. Siguiendo la metodología de Cabrera et al. (2010), previo incineración y digestión de la muestra en HCl 6N y HNO₃ 1N, se filtró y se llevó a volumen en matraz

aforado. Los minerales se determinaron por Espectrómetro de Absorción Atómica con llama (Perkin Elmer, Analyst 300, USA). Los resultados se expresaron en mg/kg.

Polifenoles y flavonoides. Se determinaron mediante métodos colorimétricos (Folin-Ciocalteu y cloruro de aluminio respectivamente), previa extracción con solvente, etanol o metanol, cuyas metodologías se describen en detalle en las secciones correspondientes. Todos los análisis se realizaron por triplicado y los resultados se expresaron como mg de Ácido Gálico Equivalente/g y mg de Equivalente Quercetina/g.

4.2 Animales y dietas

El ensayo fue realizado en la Unidad experimental avícola de huevo de Facultad de Agronomía (Udelar), se utilizaron 56 gallinas ponedoras de la línea Novogen Brown, alojadas en jaulas individuales, con 81 semanas de edad al inicio del ensayo. Las aves se mantuvieron durante 28 días (4 semanas) en un ambiente con temperatura, humedad y ventilación controladas, bajo un fotoperiodo de 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad. Alojadas en jaulas de alambre galvanizado, con dimensiones de 44 cm x 30 cm y 40 cm de altura, equipadas con comederos individuales y bebederos automáticos. Las gallinas recibieron alimento una vez al día, siempre a la misma hora, y tuvieron acceso continuo al agua de bebida. Los animales se distribuyeron al azar en cuatro tratamientos experimentales, con 14 aves por tratamiento y no se registraron muertes durante el período. El experimento se llevó a cabo bajo un diseño completamente al azar, con cuatro tratamientos y 14 repeticiones por tratamiento, considerando a cada gallina como una unidad experimental (Figura 2), y se aplicó protocolo CHEA (ID 1615).

Figura 2

Gallinas alojadas en las jaulas experimentales por dieta



Se formularon cuatro dietas experimentales para gallinas ponedoras, las cuales fueron ofrecidas durante todo el período experimental. Las dietas fueron:

- **Dieta control:** una dieta base maíz-soja sin inclusión de harina de camelina (C).
- **Dieta 5%:** dieta control con 5 % de harina de camelina sustituyendo la harina de soja (5%).
- **Dieta 10%:** dieta control con 10 % de harina de camelina sustituyendo la harina de soja (10%).
- **Dieta 15%:** dieta control con 15 % de harina de camelina sustituyendo la harina de soja (15%).

Durante los tres días previos al inicio del ensayo, se realizó un período de acostumbramiento, en el cual se mezcló en proporción creciente la ración habitual con cada una de las dietas experimentales. Las dietas se formularon para cubrir los requerimientos nutricionales de gallinas ponedoras en postura avanzada (isoproteica e isoenergética). La composición de ingredientes de cada tratamiento se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2*Composición de las dietas experimentales con 0, 5, 10 y 15 % camelina*

Ingredientes	Control	5%	10%	15%
	g/kg			
Maíz molido	598,0	590,3	588,7	584,6
Harina de girasol, 31 % PC	58,3	45,0	7,0	0,1
Harina de soja High Pro, 48%PC	210,0	181,0	171,1	132,6
Harina de camelina	0,0	50,0	100,0	150,0
Harina de Carne y Hueso.40/45	15,0	15,0	15,0	15,0
Fosfato Bicalcico	12,0	12,0	12,0	12,0
Carbonato de calcio Fino	62,4	62,4	62,4	62,4
Carbonato de calcio Grueso	15,6	15,6	15,6	15,6
Sal fina	3,0	3,0	3,0	3,0
Aceite girasol alto oleico	13,5	13,5	13,5	13,5
Lisina-HCl, 79%	3,0	3,0	3,0	3,0
Metionina, 99%	2,5	2,5	2,5	2,5
Nutritec Ponedoras	5,0	5,0	5,0	5,0
Butirex C4	1,0	1,0	1,0	1,0
Colina, cloruro, 60%	0,2	0,2	0,2	0,2
FreeTox	0,5	0,5	0,5	0,5
Composición analizada				
EM, kcal/kg	2771	2742	2728	2700
PB, %	17,3	17,4	17,4	17,1
Ca%	3,577	3,588	3,575	3,592
Pdis%	0,357	0,364	0,371	0,377

Nota. Nutritec Ponedoras: Premix mineral-vitaminico (Nutritec, Uruguay). Butirex C4: ácido butírico (Nutrisur, Uruguay). Free Tox: captador micotoxinas (Nutrisur, Uruguay).

4.3 Determinación de los parámetros de respuesta animal

Se determinaron las siguientes variables de respuesta animal: consumo de alimento, producción de huevos y peso de huevo. El consumo de alimento se determinó por ave, fue tomado cuatro días cada semana del experimento (16 mediciones) y fue calculado por diferencia entre la cantidad de ración suministrada diariamente (250 g) a las 11:00 am y el remanente no consumido al día siguiente mediante balanza digital, con capacidad máxima de 500 g y resolución de 0,001 g. El peso individual de los huevos se determinó con la misma balanza diariamente. Durante el experimento fueron pesados 1327 huevos y se tomó registro de la producción (huevos puestos por ave por día) para cada tratamiento.

4.4 Determinación de la calidad interna del huevo

Para la evaluación de la calidad interna del huevo se realizaron análisis en tres momentos: inicio, medio y final del experimento. A su vez en cada medición se tomaron registros de tres días consecutivos. Para ello fueron seleccionados de cada día una mitad de manera aleatoria para analizar en fresco y la otra proporción para procesar en conservado (posterior a los 28 días de conservación a 4° C). Cada parámetro evaluado contiene entre 30 y 38 medidas determinadas según la postura de cada día y tratamiento. Las variables analizadas de calidad interna fueron Unidades Haugh, color de yema, peso de yema y clara. Los huevos fueron abiertos individualmente, y se le registraron todas sus medidas.

Unidades Haugh: Para la determinación de las Unidades Haugh se tomó en cuenta el peso de huevo y altura de clara, para ello se empleó el uso de la altura de la clara utilizando micrómetro trípode Baxlo (España) (Figura 3) de 20 mm de capacidad y 0,01 mm de sensibilidad. El ensayo se realizó en un vidrio de 40 x 30 cm, en una superficie plana y nivelada. Una vez el huevo roto, se localizó la parte más alta del albumen (generalmente a 1cm de la yema de huevo) y se situó el instrumento encima hasta estar en contacto con la clara. Para obtener el resultado de Unidades Haugh se utilizó la ecuación propuesta por Haugh en 1937 (Eisen et al., 1962; Zalapa, s.f.). Donde se procedió con la siguiente fórmula:

$$100 * \log (h - 1.7 * p^{0.37} + 7.57)$$

h = altura de albumen en milímetros

p =peso del huevo expresado en gramos

La calidad de la clara del huevo puede clasificarse según el valor de la Unidad Haugh, evaluado en huevos rotos y medido a una temperatura entre 7 y 15 °C de acuerdo con United States Department of Agriculture (USDA, 2000). La escala se presenta a continuación en la Tabla 3.

Tabla 3

Clasificación de la calidad del huevo según la Unidad Haugh

Tipo de Calidad	Características
Calidad AA (firme)	Clara espesa y viscosa que mantiene la yema centrada. Presenta valores de Unidad Haugh ≥ 72
Calidad A (medianamente firme)	Clara medianamente viscosa, presenta valores de unidad Haugh entre 60 y 72.
Calidad B (acuosa)	Clara líquida y con baja viscosidad. Presenta valores de Unidad Haugh < 60

Nota. Adaptado de USDA (2000).

Color de la yema. La determinación del color de la yema de huevo se realizó mediante un colorímetro portátil CR 10 (Konica Minolta, Japón) (Figura 3), con iluminante estándar D65, de alta precisión. El color de la yema fue determinado en el espacio triestímulo CIElab ($L^*a^*b^*$, M. C. Cabrera, comunicación personal, 6 de junio, 2026), a partir de tres coordenadas: L^* (luminosidad), a^* (enrojecimiento) y b^* (amarillamiento). El parámetro L^* se define en una escala de 0 (negro) a 100 (blanco), Las variables a^* y b^* describen los ejes cromáticos del sistema CIELab, donde a^* expresa la variación del verde al rojo y b^* la del azul al amarillo; valores positivos de ambos parámetros indican un mayor enrojecimiento y amarillamiento, respectivamente.

Figura 3

Medición de la Unidad Haugh mediante micrómetro y evaluación del color con colorímetro



El color de la yema de huevo puede evaluarse también mediante el abanico de color Roche, una escala visual compuesta por 15 tonalidades que van desde amarillo pálido hasta naranja intenso. Fue desarrollado para clasificar de manera práctica la intensidad de la pigmentación de la yema comparándola con colores de referencia. Cada nivel representa un grado de pigmentación, para ello se debe comparar la yema con alguna de las láminas del abanico hasta encontrar la que tiene mayor similitud. Un color más oscuro no implica necesariamente huevo de mayor calidad, sino que hay mayor pigmentación causada por la dieta ya sea natural o artificial (Vuilleumier, 1969).

Determinación del peso de clara y yema. En otro grupo de huevos destinados a ser analizados frescos, se separaron la yema en frascos y la clara en bolsas individuales (Figura 4) y fueron pesadas en balanza digital.

Figura 4

Yemas y claras en recipientes y bolsas individuales



4.5 Determinación de los parámetros de calidad externa

Índice de cáscara y espesor de cáscara. La calidad externa del huevo se evaluó mediante el índice de cáscara y el espesor, para ello una vez separada del contenido interno, la cáscara fue secada en estufa a 105°C por 48 horas. Para la determinación del índice se utiliza lo propuesto por Mongin, donde utiliza el peso de la cáscara (incluyendo las membranas) y la superficie del huevo. La ecuación propuesta es: $I = (C/S) * 100$. Donde C es el peso de la cáscara (g) y S se determina a partir de una ecuación $S = K * P^{(2/3)}$, siendo P el peso de huevo (g) y K una constante empírica donde varía ligeramente según el peso: K = 4,67 para huevos de 55–60 g. K = 4,68 para huevos de 60–65 g. K = 4,69 para huevos de 70–75 g (Mongin, 1965).

Para medir el espesor se utilizó un micrómetro digital Baxlo (Figura 5), donde se midió tres puntos en cada huevo (extremo puntiagudo, ecuador y romo). Este método fue comprobado por Sun et al. (2012), quienes demostraron que el promedio de estos tres puntos no difiere significativamente del promedio calculado a partir de 42 puntos en toda la cáscara. Además, observaron que el espesor del extremo puntiagudo es muy cercano al promedio de toda la cáscara, por lo que podría utilizarse como medición representativa cuando solo se mide un punto.

Figura 5

Secado de cáscaras en estufa y medición de espesor mediante micrómetro

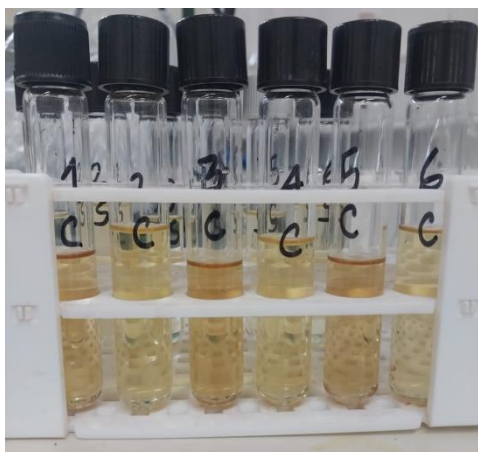


4.6 Determinación de polifenoles y flavonoides

Extracciones. Para determinar el contenido de polifenoles y flavonoides de las muestras de harina de camelina se realizaron dos métodos de extracción: metanol 80% y etanol 80% acidificada con ácido clorhídrico al 0.5%. Se utilizaron tres muestras para cada solvente (Figura 6). Se procedió con una muestra de 0.5 gramos cada una con 10 ml de la solución. Posteriormente se realizó un vortexeado de la muestra y se colocó en baño María por 1 hora 30 minutos a 100 rpm, y 37° C de temperatura. Finalizado este proceso fueron retiradas y colocadas hasta alcanzar la temperatura ambiente. El extracto obtenido fue filtrado utilizando papel de filtro Whatman N.º 1 (0.55 mm) y se obtuvo el extracto de las muestras (Figura 7).

Figura 6

Extractos etanólicos y metanólicos de harina de camelina



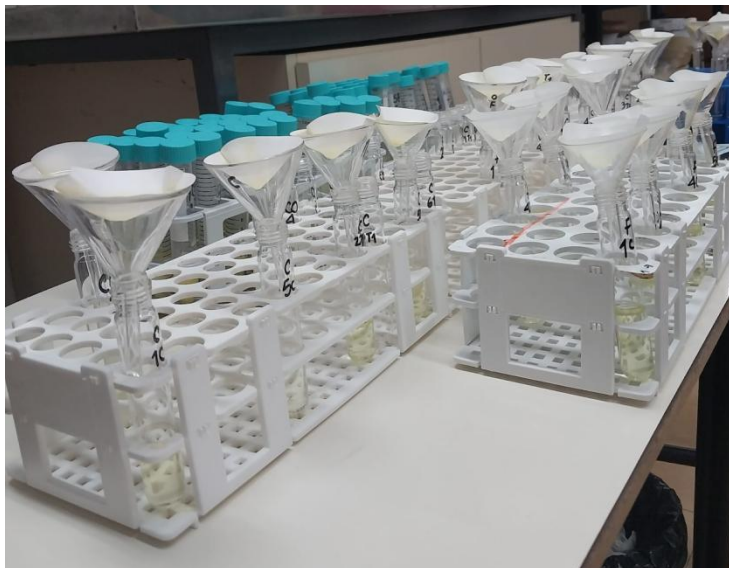
Medición de flavonoides y polifenoles en harina de camelina, raciones y yemas de huevo. Para la cuantificación de los flavonoides totales se siguió el método colorimétrico de cloruro de aluminio (Bag et al., 2015). Previo a realizar las mediciones de las muestras, se elaboró la curva estándar de quercetina a partir de disoluciones de la solución madre elaborada con una concentración de 100µg/ml. Se realizaron 2 disoluciones: 50µg/ml y 25µg/ml y se elaboró la curva. Del extracto se tomó 0.5ml y se colocó en un tubo de ensayo. Se añadió 1.5ml metanol (80 %), 0.1ml de cloruro de aluminio (10 %), 0,1 ml acetato de potasio (1M), 2,8 ml agua destilada y se vortexeo. Todas las soluciones fueron preparadas al momento de realizar el análisis. Posteriormente se realizó una incubación 30 minutos a oscuridad y se midió la absorbancia a 415 nm en un espectrofotómetro Genesys 6 (Thermo, USA) y cuva de vidrio. El resultado se expresó como en mg de equivalente quercetina/kg.

Para la harina de camelina los puntos se aproximaron al límite superior de la curva debido a la alta concentración de flavonoides presentes por lo que se procedió a diluir la muestra y se siguió con el mismo procedimiento, luego el resultado se multiplicó por el factor de dilución.

Así mismo se comprobó que el etanol era mejor extrayente que el metanol resultando en valores más altos por lo que las muestras de yema y de las raciones de cada tratamiento se realizaron con este solvente. Para ello fueron tomadas muestras del día 0 (6 frescos y 6 conservados) y el muestreo final (6 frescos y 6 conservados de cada tratamiento) donde fue utilizado 1 gramo de yema huevo con etanol 80% acidificado con ácido clorhídrico al 0.5%. Para las raciones experimentales, se tomaron 3 muestras de cada tratamiento y se continuó con el mismo procedimiento.

Figura 7

Proceso de filtrado de yemas de huevo con solvente etanol



Para la determinación de los polifenoles totales se usó el método con el reactivo Folin-Ciocalteu propuesto por Singleton et al. (1999). Al inicio se elaboró una curva estándar en el espectrofotómetro Genesys 6 con ácido gálico con diluciones de 0.25g/L, 0.50g/L y 1g/L.

El procedimiento para la harina de camelina y las raciones de cada tratamiento fue el agregado de 100μL del extracto, posteriormente se le añadió 7ml de agua destilada y 500 μL de Folin puro. Se añadió 1.5ml de carbonato de sodio al 20 %, se homogeneizó y se incubó a temperatura ambiente por 1 hora. Posteriormente la absorbancia se midió a 760 nm. Los resultados se expresaron como ácido gálico equivalente g GAE/kg. se midió la absorbancia a 760 nm mediante espectrofotometría (Genesys10-vis, Thermo).

Para la extracción en huevos se realizaron modificaciones debido a la diferente matriz, donde se tomaron 150μL del extracto con 750μL de reactivo de Folin (10 % v/v en agua desionizada). Después de 4 minutos se añadieron 900μL de carbonato de sodio saturado (75 g/L) y las soluciones se incubaron dos horas en oscuridad y a temperatura ambiente. Luego de culminar este tiempo fueron vortexadas y medidas. El contenido total se expresó en equivalente de ácido gálico (GAE) en mg/g de yema, se midió la absorbancia a 760 nm mediante espectrofotometría (Genesys10-vis, Thermo).

4.7 Determinaciones del estatus oxidativo del plasma (TBARS)

Al día 28 del experimento se procedió a realizar la extracción de sangre de la vena alar en tubo con EDTA, de 6 gallinas por cada tratamiento a las 84 semanas de edad de las aves, se centrifugó a 2500 g (centrifuga refrigerada Thermo, Sorval USA) y recuperó el plasma para posterior análisis.

Cuantificación de los TBARS en plasma. La peroxidación lipídica plasmática se determinó mediante la cuantificación de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS), siguiendo el método de Buege y Aust (1978) con modificaciones. Se mezcló 250µL del plasma con 750µL agua desionizada y 10µL butilhidroxitolueno (BHT) para prevenir la oxidación adicional durante el procesamiento y se homogeneizó. Posteriormente, se añadió la solución reactiva de TBARS, compuesta por ácido tricloroacético (TCA), ácido tiobarbitúrico (TBA) y ácido clorhídrico (HCl). La mezcla se homogeneizó e incubó en baño de agua a 90 °C durante 30 minutos para favorecer la formación del complejo cromógeno, y luego se dejó enfriar a temperatura ambiente. Tras la adición de butanol y centrifugación a 7500 rpm, se midió la absorbancia a 532 nm mediante espectrofotometría (Genesys 6, Thermo). La concentración de MDA se calculó utilizando un coeficiente de extinción molar de $156 \text{ mM}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$. Se incluyó un blanco reactivo preparado con solución buffer en lugar de muestra. Los resultados se expresaron como μg de MDA mL^{-1} de plasma.

Análisis estadístico. Se realizó un diseño completamente al azar con 14 repeticiones por tratamiento. Cada gallina fue considerada como una unidad experimental. Se realizó ANOVA de una vía o GML dependiendo la variable, considerando la dieta, el momento de muestreo y su interacción. Posteriormente se realizó comparación de medias mediante prueba de Tukey-Kramer con un nivel de significancia de $p < 0.05$. El programa estadístico utilizado fue NCSS 2019 y para la elaboración de gráficos el software Sigmaplot 2014.

Todas las determinaciones se llevaron a cabo en el Laboratorio de Calidad de Alimentos y Calidad de Productos de la Facultad de Agronomía.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Características nutricionales de la camelina

En la Tabla 4 se presenta la composición nutricional de la harina de camelina utilizada. La harina de camelina presentó valores de aFDN_{mo} (36,10 %) y FDA_{mo} (14,29%) y fueron similares a lo que se encontró en la literatura. En este sentido Hajiazizi et al. (2024) reportaron como valor medio de la harina de camelina de varios experimentos analizados un 33,0 % de FDN, así como Woyengo et al. (2016) para torta de camelina reportaron 38,3 % siendo ligeramente superior debido a diferencias en el grado de extracción de aceite y procesamiento del subproducto. A su vez Pekel et al. (2015) determinaron un contenido de 16,9 % de FDA.

Con relación a la energía bruta se determinó 4,30 Mcal/ kg ligeramente inferior a los reportado por Pekel et al. (2015) quienes informaron de 4,77 Mcal/ kg y por otra parte el contenido de proteína cruda determinado en este experimento fue de 36,4% comparable al informado por Hajiazizi et al. (2023), quienes reportaron 34,2%. La camelina presenta un menor porcentaje de PB con respecto a la harina de soja 44 (Banaszkiewicz, 2011).

El contenido de cenizas fue de 5,84g/100g en base seca similar a lo que obtuvo Moreno Díaz (2021) donde reportó 6,94g/100g en su trabajo. El contenido de polifenoles totales (CPT) fue de $12,87 \pm 0,88$ mg/g, expresado como Equivalentes de Ácido Gálico (GAE, por su sigla en inglés), mientras que el contenido de flavonoides totales (CFT) fue de $4,49 \pm 0,05$ mg/g, expresado como Equivalentes de Quercetina (QE, por su sigla en inglés).

Estos valores se encuentran en un rango comparable a los reportados por Russo y Reggiani (2018), quienes analizaron 47 variedades de harina de *Camelina sativa* y obtuvieron un contenido promedio de polifenoles de 13,6 mg ácido cafeico equivalente (CAE)/g de peso seco (rango: 9,3–18,1 mg CAE/g), y 3,6 mg catequina equivalente (CE)/g de flavonoides. Asimismo, los resultados de polifenoles concuerdan con lo reportado por Rahman (2017), quien determinó 12,96 mg GAE/g, mientras que el contenido de flavonoides reportado por dicho autor fue de 6,8 mg CE/g. Ambos (CFT y CFT) fueron analizados también en las raciones como se detalla en la Tabla 5 observándose un incremento a medida que la inclusión era mayor. Lo mismo fue reportado por Lolli et al. (2020) con dosis crecientes de camelina en las dietas.

Las comparaciones deben interpretarse con precaución debido a las diferencias en los estándares utilizados para la cuantificación (ácido gálico, ácido cafeico, catequina o quercetina), así como en las metodologías analíticas empleadas.

Minerales. La camelina se caracteriza por presentar un importante aporte mineral. Se ha reportado que sus semillas contienen aproximadamente 1% de calcio, 1,4% de fósforo y 1,6% de potasio (Riaz et al., 2022). En cuanto a la harina de camelina el potasio constituye el mineral predominante, seguido por fósforo, magnesio y calcio, en nuestro estudio calcio, potasio, magnesio que se analizaron fueron los principales. En cuanto a los microminerales, los valores obtenidos fueron similares a los reportados en la literatura: Cu 10 vs 7 ppm, Zn 41 vs 51 ppm, Mn 31 vs 25 ppm y Fe 123 vs 148 ppm. (Cherian et al., 2009).

Tabla 4

Composición proximal y nutricional de la harina de camelina usada en el protocolo experimental

Items	Media $\pm$ EE
Materia seca, g/100 g	89,43 $\pm$ 0,05
Cenizas, g/100 g, base seca	5,84 $\pm$ 0,02
Proteína bruta, g/100 g, base seca	36,40
Lípidos, g/100 g, base seca	3,42 $\pm$ 0,14
Fibra dietética, g/100 g, base seca	37,04 $\pm$ 0,95
aFDNmo, g/100 g, base seca	36,10 $\pm$ 0,99
FDAmo, g/100 g, base seca	14,29 $\pm$ 0,53
Energía bruta, Mcal/kg	4,30
CPT, mg/g	12,87 $\pm$ 0,88
CFT, mg/g	4,49 $\pm$ 0,05
Minerales, mg/kg	
Ca	3727,36 $\pm$ 10,56
K	1477,03 $\pm$ 38,85
Mg	1191,97 $\pm$ 2,43
Na	160,29 $\pm$ 4,82
Fe	122,75 $\pm$ 2,11
Zn	40,46 $\pm$ 0,03
Mn	30,93 $\pm$ 0,20
Cu	9,67 $\pm$ 0,05

Nota. aFDNmo: fibra detergente neutro con amilasa y corregida por ceniza; FDAmo: fibra detergente ácida corregida por ceniza; CPT: contenido de polifenoles totales; CFT: contenido de flavonoides totales; EE: error estándar.

Tabla 5*Efecto de la camelina sobre polifenoles y flavonoides de las dietas*

Inclusión de harina de camelina (%)					
Items		Control	5%	10%	15%
Polifenoles	mg/g	3,43 ± 0,10d	4,04 ± 0,10c	4,64 ± 0,10b	5,21 ± 0,10 ^a
Flavonoides	mg/g	0,21 ± 0,03c	0,31 ± 0,03c	0,44 ± 0,03b	0,60 ± 0,03 ^a

Nota. Los datos son la media ± error estándar. Los resultados de polifenoles están expresados en mg/g de Ácido Gálico Equivalente (GAE). Los flavonoides se expresan en mg/g de Quercetina equivalente (QE). a,b,c,d; significa diferencia significativa entre dietas (C, 5,10 y 15%) dentro de la misma fila por Anova de una vía y post hoc Test de Tukey-Kramer ($p \leq 0.05$).

5.2 Consumo, producción de huevos y peso de huevo

Consumo. El consumo presentó diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$) siendo mayor para los tratamientos 5 y 10 % (Figura 8 y Tabla 6). En la misma línea Cherian y Quezada (2016) observaron un aumento significativo en el consumo de alimento en las gallinas alimentadas con semillas de camelina y lino al 10 % en comparación con las gallinas de control. El tratamiento 15 % fue el que se diferenció con el menor consumo lo que concuerda con lo obtenido por Suay Costa (2019) donde la incorporación de 15 % de torta de camelina en gallinas ponedoras tuvo un consumo menor que el resto de los tratamientos, así como una reducción del peso de las aves en los primeros 30 días del experimento sin embargo esto no ocurrió al finalizar el experimento sugiriendo que los animales necesitarían más tiempo para adaptarse a la torta de camelina, aproximadamente, 40 días.

Resultados similares fue lo obtenido por Frame et al. (2007) utilizando *Camelina sativa* en la dieta de pavos jóvenes informaron de una reducción en el consumo cuando las dietas contenían 15 y 20 % de camelina, así como también una disminución significativa del consumo lo cual se tradujo en menor aumento de peso, y peor conversión de alimento. Sin embargo, Pietras et al. (2012), Kakani et al. (2012), Lolli et al. (2020), reportan que la inclusión de hasta un 10 % de torta de camelina y harina de camelina no tuvieron efecto significativo en el consumo, porcentaje de postura, ni peso de huevo, así como el índice de conversión. Esta reducción en la ingesta debido a la inclusión de torta

de camelina en la dieta ha sido descrita también en pollos (Pekel et al., 2009; Ryhänen et al., 2007).

Entre las posibles explicaciones se consideran, por un lado, su elevado contenido de fibra que afectan el consumo y reducen la digestibilidad y, por otro, la presencia de factores antinutricionales. En particular, los glucosinolatos podrían afectar negativamente la palatabilidad del alimento (Tripathi & Mishra, 2007) además de interferir en la digestibilidad de nutrientes como la proteína y la energía (Aziza et al., 2013). Por otro lado, se detectó un incremento en el consumo en la semana 3 que no se le atribuye a ninguna causa (Tabla 6).

Figura 8

Evolución semanal del consumo con 0, 5, 10 y 15 % camelina

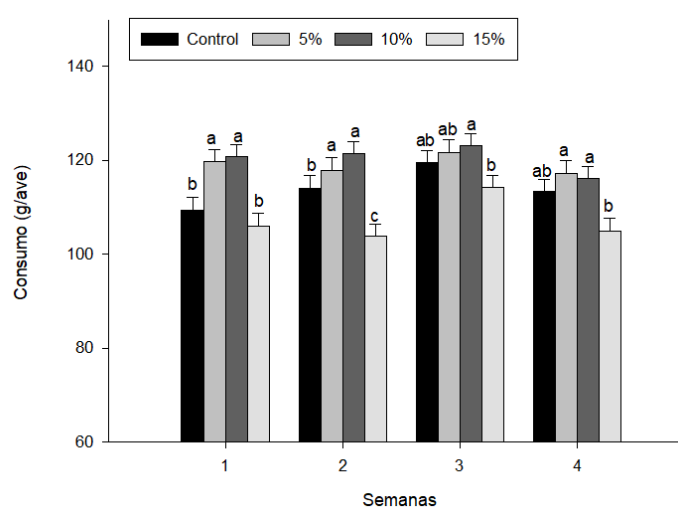


Tabla 6

Efectos principales de dieta y semana sobre el consumo (g/ave)

Efectos principales				
	0 %	5 %	10 %	15 %
Dieta p< 0.001	114,1 ± 1,3 b	119,2 ± 1,3 a	120,4 ± 1,3 a	107,3 ± 1,3 c
Semana	1	2	3	4
p< 0.05	114,0 ± 1,3 b	114,3 ± 1,3 b	119,7 ± 1,3a	113,0 ± 1,3 b
Interacción tratamiento x semana: NS, p=0,62				

Nota. Los datos son la media ± error estándar (EE) de n= 14 aves por dieta durante los 28 días del periodo experimental. **a,b,c:** significa diferencia significativa entre dietas por ANOVA GML, con efectos fijos, tratamiento y semana, e interacción tratamiento x semana, y *post hoc* Test de Tukey-Kramer (p<0.05). No se registraron diferencias significativas en la interacción tratamiento x semana (p=0,62).

Producción de huevos. El porcentaje de postura por tratamiento semanal se muestra en la Figura 9 así como sus efectos principales en la Tabla 7. El porcentaje general del periodo experimental fue menor para el tratamiento 15 %, esto concuerda con lo obtenido por Suay Costa (2019) donde el porcentaje de postura fue menor a niveles de 15 % en comparación con el control mostrando los demás tratamientos valores intermedios. Otro experimento también halló que la producción de huevos fue más baja para la inclusión de 15 % en la dieta (Cherian et al., 2009). Sin embargo, Kakani et al. (2012) no reportaron diferencias en la producción ni peso de huevo para niveles de inclusión de hasta 10 % de harina de camelina.

Figura 9

Porcentaje de postura con niveles crecientes de harina camelina por semana

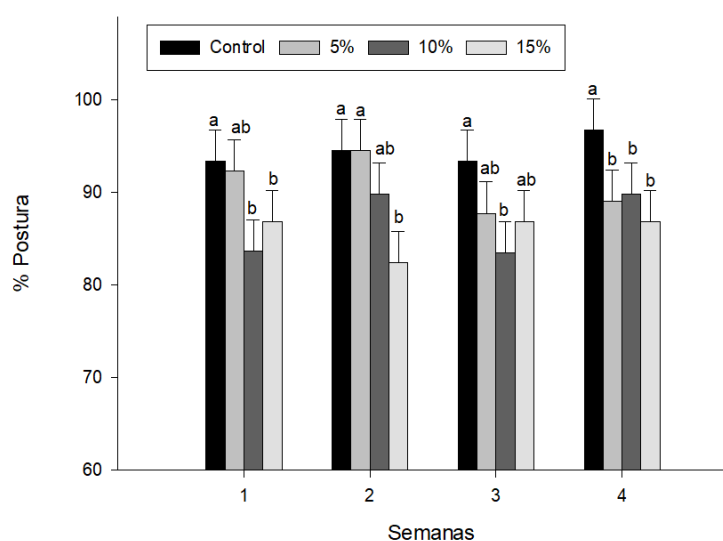


Tabla 7

Efectos de dieta, semana e interacción sobre el porcentaje de postura

Efectos principales				
	C	5 %	10 %	15 %
Dieta $p < 0.001$	94,51± 1,67a	89,84± 1,67ab	87,75±1,67b	85,72± 1,67b
Semana	1	2	3	4
$p=0,65$	89,05 ± 1,67	90,31±1,67	87,87±1,67	90,58 ±1,67
Interacción tratamiento x semana: NS, $p=0,49$				

Nota. Los datos son la media $\pm$ error estándar (EE) del peso de huevo de $n=14$ aves por dieta durante los 28 días del periodo experimental. **a,b:** significa diferencia significativa entre dietas, por ANOVA GML, con efectos fijos, tratamiento y semana, e interacción tratamiento x semana, y *post hoc* Test de Tukey-Kramer ($p < 0.05$). No se registraron diferencias significativas entre semanas ni la interacción tratamiento x semana ($p=0,49$).

Peso de huevos. Se registró un mayor peso de huevos para los tratamientos 5 y 10% diferenciándose significativamente de 15% y control ($p=0.0031$) como se puede observar en la Figura 10 y sus efectos principales en la Tabla 8, coincidiendo probablemente con el mayor consumo por parte de las aves en estos tratamientos. Si bien en el presente experimento no se registraron pesos corporales concuerda con los resultados obtenidos por Harms et al. (1982), observaron que el incremento en la ingesta diaria se asociaba a mayores pesos corporales traduciéndose en un aumento significativo del peso de huevo y masa de huevo producida. Otros resultados no concordantes fueron los obtenidos por Aziza et al. (2013) donde el peso del huevo fue menor para 10% de inclusión de harina de camelina.

Figura 10

Evolución semanal del peso del huevo con 0, 5, 10 y 15 % camelina

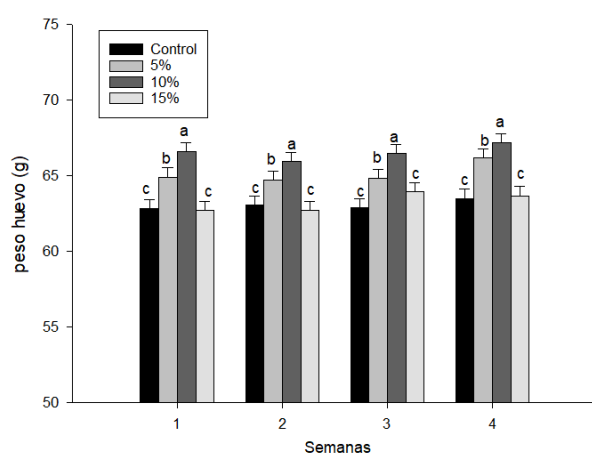


Tabla 8

Efectos de dieta, semana e interacción sobre el peso del huevo

Efectos principales				
	0 %	5 %	10 %	15 %
Dieta $p < 0.001$	63,01 ± 0,15c	65,19 ± 0,15b	66,54 ± 0,15 a	63,26 ± 0,15c
Semana $p = 0,55$	1	2	3	4
	64,22 ± 0,15	64,12 ± 0,15	65,15 ± 0,15	64,57 ± 0,15
Interacción tratamiento x semana: NS, $p = 0,73$				

Nota. Los datos son la media $\pm$ error estándar (EE) del peso de huevo de $n = 14$ aves por dieta durante los 28 días del periodo experimental. **a,b,c:** significa diferencia significativa entre dietas o entre semanas, por ANOVA GML, con efectos fijos, tratamiento y semana, e interacción tratamiento x semana, y *post hoc* Test de Tukey-Kramer ($p < 0.05$). No se registraron diferencias significativas en la interacción tratamiento x semana ($p = 0,73$).

5.3 Calidad interna y externa del huevo

5.3.1 Color

Los datos de color se presentan a continuación en las siguientes tablas. Los valores de color obtenidos del abanico de Roche (Tabla 9), así como las coordenadas (L^* , a^* y b^*) escala CIELab en la Tabla 10, los valores reportados se encuentran dentro de los rangos reportados en la literatura para huevos provenientes de dietas sin suplementación intensiva con pigmentos (Panaite et al., 2021).

Tabla 9

Efecto de la camelina y el muestreo sobre el color de yema

Inclusión de harina de camelina (%)						
Items	P	M	Control	5 %	10 %	15 %
Abanico	F	1	5,58 ± 0,14 a	5,25 ± 0,14 ab	5,27 ± 0,14 ab	5,11 ± 0,17 b
	F	2	5,60 ± 0,16 a	5,32 ± 0,16 ab	5,26 ± 0,16 ab	4,80 ± 0,16 b
Roche	C	1	6,25 ± 0,20	6,17 ± 0,20	6,08 ± 0,20	6,08 ± 0,20
	C	2	6,14 ± 0,16	6,13 ± 0,19	6,13 ± 0,18	6,19 ± 0,18
Efectos principales						
Dieta: $p < 0,0418$; C > 15						
Proceso (P; Fresco vs Conservado): $p < 0,001$; Conservado > Fresco						
Muestreo: NS, $p = 0,89$						

Nota. Los valores son medias ± EE del día 15 (1) y del día 28 (2) del experimento y su posterior conservación de 28 días para ambos (C,1 y C,2). Tomando un $n=5$ para huevos fresco/día (con 3 días de mediciones en cada muestreo=15 muestras por tratamiento) y $n=3$ para conservado fresco/día (con 3 de mediciones=9 muestras por tratamiento). Con efectos fijos dieta, proceso (fresco o conservado) y momento de muestreo (1, 2). a,b: expresan diferencias significativas entre tratamientos dentro de cada fila por ANOVA de una vía y Test de Tukey-Kramer ($p < 0.05$).

Tabla 10*Efecto de la camelina y el muestreo sobre parámetros CIELab de yema*

Items	P	M	Control	5 %	10 %	15 %
L*	F	1	54,63 ± 1,36	54,28 ± 1,36	53,22 ± 1,36	53,15 ± 1,36
	F	2	54,63 ± 1,05	54,28 ± 1,26	53,22 ± 1,18	53,15 ± 1,18
	C	1	56,34 ± 0,96	56,23 ± 0,96	55,08 ± 0,92	55,84 ± 1,11
	C	2	56,34 ± 1,05	56,23 ± 1,05	55,08 ± 1,05	55,84 ± 1,05
Efectos principales						
Dieta: NS, p = 0,3082						
Proceso (Fresco vs Conservado): NS, p = 0,1032						
Muestreo: NS, p = 0,5511						
a*	F	1	-0,70 ± 0,40 a	-1,37 ± 0,40 b	-1,97 ± 0,40 c	-1,28 ± 0,40 b
	F	2	-1,05 ± 0,31 a	-2,14 ± 0,37 b	-1,66 ± 0,35 ab	-2,33 ± 0,35 c
	C	1	-2,33 ± 0,28 a	-2,45 ± 0,28 a	-3,13 ± 0,27 b	-3,20 ± 0,33 b
	C	2	-2,52 ± 0,31 ab	-1,80 ± 0,31 a	-2,96 ± 0,31 b	-2,78 ± 0,31 b
Efectos principales						
Dieta: p= 0,0024; C > 10, 15						
Proceso (Fresco vs Conservado): p < 0,001; Fresco > Conservado						
Muestreo: NS, p= 0,5463						
b*	F	1	43,11 ± 1,12 a	42,96 ± 1,12 ab	41,38 ± 1,08 ab	37,79 ± 1,29 b
	F	2	42,97 ± 1,23 ab	44,95 ± 1,23 a	40,90 ± 1,23 b	42,07 ± 1,23 ab
	C	1	49,30 ± 1,59 a	46,17 ± 1,59 ab	45,07 ± 1,59 b	44,88 ± 1,59 b
	C	2	46,21 ± 1,23 a	46,63 ± 1,47 a	43,46 ± 1,37 b	43,59 ± 1,37 b
Efectos principales						
Dieta: p= 0,0005; C, 5 > 10, 15						
Proceso: (Fresco vs Conservado): NS, p=0,071						
Muestreo: NS, p= 0,98						

Nota. Los valores son medias ± error estándar el día 15 (1) y el día 28 (2) del experimento y su posterior conservación de 28 días para ambos (C,1 y C,2). Tomando un n=5 para huevos fresco/día (con 3 días de mediciones en cada muestreo=15 muestras por tratamiento) y n=3 para conservado fresco/día (con 3 de mediciones=9 muestras por tratamiento). Con efectos fijos dieta, proceso (fresco o conservado) y momento de muestreo (1, 2). Letras: a, b, c: expresan diferencias significativas (p< 0.05) entre tratamientos dentro de cada fila por ANOVA de una vía y Test de Tukey-Kramer. Donde **P**: Proceso (fresco o conservado) y **M**: Muestreo (día 15-1; día 28-2).

Para abanico de Roche se diferenciò el tratamiento control de 15 %. No se registraron diferencias significativas entre tratamientos para la variable L en la escala CIELab. Si se registraron diferencias para parámetros a y b para ambas variables en fresco y conservado. Para la variable a, los tratamientos 10% y 15% difirieron del control. Así como la dieta de 15% se diferenciò de control para conservado. Para b se diferenciò control y 5% del tratamiento 10 y 15%.

Fletcher (1979) comparó distintos métodos de evaluación del color de la yema de huevo, incluyendo la escala Roche y el sistema CIELab (L^* , a^* , b^*). El autor observó que cuando aumentan los valores de a^* (enrojecimiento) y b^* (amarillamiento), la yema presenta un color más intenso y también obtiene mayores puntuaciones en la escala Roche.

Esto se traduce en huevos de mayor pigmentación en la yema en el grupo control y a medida que se introduce la camelina tiende a volverse más pálida. Suay Costa (2019) también concluyó que a partir de más de un 10 % de inclusión de torta, el color de la yema es más pálido y de tonalidad amarilla. En otro experimento el color de yema fue más bajo para huevos de 5, 10 y 15 % de camelina y más alto en huevos de control, el estudio lo atribuye a que puede deberse al proceso de extracción del aceite y que podría dejar a la harina baja en pigmentos liposolubles como los carotenoides (Cherian et al., 2009).

Además, el color amarillo de la yema de huevo se produce por pigmentos xantofilicos liposolubles de la dieta, Aziza et al. (2013) reportaron que para la dieta de 10% de camelina las yemas eran de tonalidades más pálidas, atribuyendo que la inclusión de camelina llevó a una reducción de maíz, afectando el contenido de pigmento y dando como resultado una yema más pálida.

Los huevos conservados tendieron a tener una mayor pigmentación en la yema que los frescos en el abanico de Roche, mientras que la variable a en la escala CEILab se obtuvo lo contrario. Andrade-Yucailla et al. (2024) no tuvieron diferencias significativas con los días de conservación y Madrigal-Portilla et al. (2023) obtuvieron resultados poco consistentes debido a un incremento de color el día 21 de conservación. Se le atribuye una posible pérdida de color debido a la conservación ya que las proteínas presentes en el albumen y en la membrana vitelina se degradan, permitiendo el paso de agua del albumen a la yema, lo que genera una dilución del pigmento (Jones, 2006, como se cita en Andrade-Yucailla et al., 2024).

5.3.2 Peso de yema y clara, Unidades Haugh

No se observaron diferencias significativas en el peso de la yema entre tratamientos, mientras que el peso de la clara presentó un incremento significativo en el tratamiento 10% respecto al grupo control como se puede observar en la Tabla 11. Esto podría deberse a lo mencionado anteriormente del mayor consumo por parte de las aves

que tiene un efecto positivo en el peso corporal y esto se refleja en el peso de huevo aumentando de manera significativa (Li et al., 2011). En este sentido, se ha reportado que el aumento del peso del huevo se refleja en las fracciones de clara y yema (Yannakopoulos et al., 1998).

En estudios previos con camelina, los resultados han sido variables. Pietras et al. (2012) observaron un aumento en la proporción de yema con la inclusión de aceite de camelina. En contraste, Cherian y Quezada (2016) reportaron una disminución en el peso de la albúmina con niveles del 10% de inclusión, mientras que Cherian et al. (2009) encontraron una reducción significativa en el peso de la yema a niveles de 10 y 15 %. Asimismo, Suay Costa (2019) reportó menores pesos tanto de yema como de clara con la inclusión del 15% de torta de camelina. No se encontraron diferencias significativas para la variable UH esto concuerda con lo obtenido por Cherian et al. (2009) y Aziza et al. (2013) donde no hallaron diferencias entre los grupos. Si se halló que los huevos frescos presentaron mayores valores que conservados, lo mismo obtuvo Alleoni y Antunes (2001) atribuido a la pérdida de CO₂ y aumento del pH del albumen que provoca degradación de las proteínas de la clara disminuyendo su altura.

El peso de la clara también disminuyó mientras que el de la yema aumentó durante la conservación, en sintonía con lo obtenido por Silversides y Budgell (2004). Los autores atribuyen la disminución del peso de la clara durante el almacenamiento a la pérdida de agua a través de la cáscara, reduciendo el contenido de albúmina del huevo. Además, ocurren cambios en la estructura proteica y transferencia de componentes hacia la yema, contribuyendo al aumento de su peso.

5.3.3 Calidad externa del huevo

No se hallaron diferencias en el índice de cáscara ni espesor de cáscara para ninguno de los niveles de inclusión, en la misma línea Cherian et al. (2009) obtuvieron el mismo resultado. Sin embargo, en otra investigación el espesor mostró leves variaciones según la inclusión, el tratamiento con 10% de camelina presentó mayor espesor (0,38 mm) que los niveles más altos (0,36 mm) (Lolli et al., 2020). Kakani et al. (2012) observaron una leve diferencia a favor de 5 % contra 10 % sin embargo ninguna se diferenció de control. Pudiendo concluir que la harina de camelina no tiene efectos

importantes en el espesor de la cáscara. Los resultados mencionados anteriormente se pueden visualizar en la Tabla 12.

Tabla 11

Efecto de la camelina sobre la calidad interna del huevo

Inclusión de harina de camelina (%)						
Items	P	M	Control	5 %	10 %	15 %
Peso yema	F	1	17,03 ± 0,56	17,61 ± 0,49	17,17 ± 0,54	17,01 ± 0,54
	F	2	17,58 ± 0,50	17,03 ± 0,76	17,43 ± 0,56	16,97 ± 0,56
	C	1	17,94 ± 0,54	18,61 ± 0,69	18,08 ± 0,69	17,81 ± 0,85
	C	2	18,11 ± 0,51	18,22 ± 0,64	17,98 ± 0,56	17,54 ± 0,76
Efectos principales						
Dieta: NS, p = 0,16						
Proceso (P; Fresco vs Conservado); p=0,03, Conservado > Fresco						
Muestreo: NS, p = 0,39						
Peso clara	F	1	35,53 ± 1,46b	37,52 ± 1,40ab	40,11 ± 1,53a	37,78 ± 1,53ab
	F	2	35,82 ± 1,48b	36,82 ± 1,62ab	40,64 ± 1,62a	37,76 ± 1,62ab
	C	1	33,85 ± 1,60	35,58 ± 1,98	36,14 ± 1,98	33,94 ± 1,92
	C	2	33,14 ± 1,72b	35,65 ± 1,83ab	36,83 ± 1,74a	34,01 ± 1,98ab
Efectos principales						
Dieta: p= 0,0043; T2 > Control						
Proceso (Fresco vs Conservado): p< 0,001; Fresco > Conservado						
Muestreo: NS, p = 0,56						
UH	F	1	74,54 ± 3,12	71,54 ± 3,12	75,63 ± 3,03	68,83 ± 3,42
	F	2	73,46 ± 3,22	73,71 ± 3,42	76,28 ± 3,18	67,17 ± 3,29
	C	1	63,92 ± 3,40	59,87 ± 4,41	64,03 ± 4,41	64,48 ± 4,39
	C	2	63,92 ± 3,35	61,19 ± 4,08	58,84 ± 3,82	62,02 ± 3,78
Efectos principales						
Tratamiento: NS, p = 0,19						
Proceso (Fresco vs Conservado): p< 0,001; Fresco > Conservado						
Muestreo: NS, p= 0,68						

Nota. Los valores son medias ± EE el día 15 (1) y el día 28 (2) del experimento y su posterior conservación de 28 días para ambos (C,1 y C,2). Tomando un n=4 para huevos fresco/día (con 3 días de mediciones en cada muestreo=12 muestras por tratamiento) y n=3 para conservado fresco/día (con 3 de mediciones=9 muestras por tratamiento). Con efectos fijos dieta, proceso (fresco o conservado) y momento de muestreo (1, 2). Letras a,b: expresan diferencias significativas (p< 0.05) entre tratamientos dentro de cada fila por ANOVA de una vía y Test de Tukey-Kramer. Donde **P**: Proceso (fresco o conservado) y **M**: Muestreo (día 15-1; día 28-2).

Tabla 12*Efecto de la camelina sobre la calidad externa del huevo*

Inclusión de harina de camelina (%)						
Items	P	M	Control	5 %	10 %	15 %
Espesor	F	1	0,38 ± 0,01	0,38 ± 0,01	0,39 ± 0,01	0,39 ± 0,01
	F	2	0,37 ± 0,01	0,39 ± 0,01	0,39 ± 0,01	0,40 ± 0,01
	C	1	0,39 ± 0,01	0,39 ± 0,01	0,38 ± 0,01	0,39 ± 0,01
	C	2	0,38 ± 0,01	0,39 ± 0,01	0,38 ± 0,01	0,39 ± 0,01
Efectos principales						
Dieta: NS, p > 0,05						
Proceso (Fresco vs Conservado): NS, p> 0,05						
Muestreo: NS, p > 0,05						
Índice de cáscara	F	1	8,17 ± 0,15	8,23 ± 0,15	8,08 ± 0,15	8,16 ± 0,16
	F	2	7,98 ± 0,15	8,20 ± 0,17	7,95 ± 0,16	8,17 ± 0,16
	C	1	8,16 ± 0,17	8,23 ± 0,20	8,05 ± 0,19	8,32 ± 0,22
	C	2	7,89 ± 0,19	8,26 ± 0,20	7,99 ± 0,20	8,29 ± 0,19
Efectos principales						
Dieta: NS, p=0,09						
Proceso (Fresco vs Conservado): NS, p= 0,31						
Muestreo: NS, p=0,23						

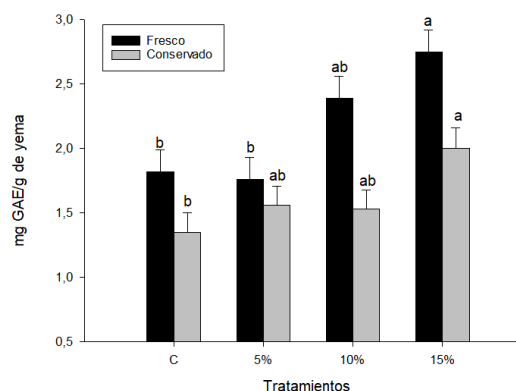
Nota. Los valores son medias ± EE el día 15 (1) y el día 28 (2) del experimento y su posterior conservación de 28 días para ambos (C,1 y C,2). Tomando n=7 diario (con 3 días de mediciones en cada muestreo=21 muestras por tratamiento) y n=5 para conservado fresco/día (con 3 de mediciones=15 muestras por tratamiento). Con efectos fijos dieta, proceso (fresco o conservado) y momento de muestreo (1, 2). No se detectaron diferencias significativas en ninguna variable de calidad externa. Donde **P**: Proceso (fresco o conservado) y **M**: Muestreo (día 15-1; día 28-2).

5.4 Polifenoles y Flavonoides en la yema

En las Figura 11 y 12 se presentan los resultados de polifenoles y flavonoides de los huevos de cada tratamiento, frescos y conservados (28 días). Para los polifenoles en huevo fresco se encontró diferencia significativa de 15 % respecto a control y 5 %. Así como también ocurrió en conservados donde 15 % se diferenció de control. En el caso de los flavonoides, se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de 10 % y 15 % en comparación con el control, así como también 15 % se diferenció de 5 %. En cuanto a los huevos conservados, no se detectaron diferencias estadísticamente significativas.

Figura 11

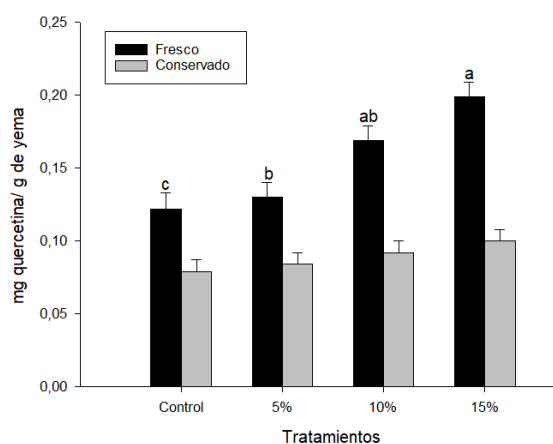
Contenido de polifenoles expresados en mg GAE/g de yema en huevos frescos y conservados



Nota. Los datos son la media $\pm$ EE de n=6 para huevos frescos o conservados. a,b: significa diferencia significativa entre dietas (C,5,10 y 15%) para huevos frescos o conservados por Anova de una via y *post hoc* Test de Tukey-Kramer ($p \leq 0.05$).

Figura 12

Contenido de flavonoides expresados en mg quercetina /g de yema en huevos frescos y conservados



Nota. Los datos son la media $\pm$ EE de n=6 para huevos frescos o conservados. a,b,c: significa diferencia significativa entre dietas (C,5,10 y 15%) para huevos frescos o conservados por Anova de una vía y *post hoc* Test de Tukey-Kramer ($p \leq 0.05$)

En relación con los polifenoles los valores obtenidos para el tratamiento control (1,82 mg GAE/g de yema en fresco y 1,35 mg GAE/g en conservado) fueron comparables a los reportados por Al-Khalaifah et al. (2024), donde los valores oscilaron entre 1,76 mg GAE/g para huevo fresco y 1,47 mg GAE/g para huevo conservado respectivamente. Otros autores también han reportado valores similares (da Silva et al., 2023; Muhammad et al., 2021).

En un estudio donde evaluaron la inclusión de linaza molida, tomate seco y pimiento rojo observaron que las concentraciones de polifenoles en yema fresca fueron mayores en las dietas suplementadas, con valores de 2,17 mg GAE/g y 2,16 mg GAE/g, en comparación con el control de 1,86 mg GAE/g (Omri et al., 2019).

Se ha comprobado que la inclusión de ingredientes ricos en compuestos bioactivos, como polifenoles en la dieta de gallinas ponedoras puede modificar la calidad nutricional del huevo, en otra investigación donde se utilizó dos dietas ricas en polifenoles en gallinas ponedoras una dieta que tenía 9 % harina de colza con 3 % de harina de semilla de uva y otra de 9 % de harina de linaza y 3 % de harina de espinillo amarillo ambas ricas en polifenoles. La inclusión en la dieta aumentó el contenido total de polifenoles y la capacidad antioxidante en los huevos en comparación con la dieta control (Vlaicu et al., 2021).

Así mismo el autor en otro estudio concluyó que los polifenoles y los compuestos antioxidantes incluidos en la harina de semillas de calabaza demostraron ser eficaces para prolongar la vida útil de los huevos conservados en refrigeración (5 °C) y a temperatura ambiente (21 °C) durante 28 días, al retrasar la oxidación lipídica y la desnaturalización proteica reflejado en UH de los huevos almacenados a ambas temperaturas (Vlaicu & Panaite, 2021). Por su parte Chen et al. (2018) evaluaron polifenoles de las hojas de eucalipto y observaron una mejora en las características del huevo, así como el estado antioxidante sérico de las gallinas determinando que podría utilizarse como aditivo en las dietas.

Para los flavonoides se observó un incremento de las concentraciones en el huevo a medida que se introduce mayores niveles de camelina, en la misma línea a lo observado con los polifenoles. Esto puede explicarse por la absorción intestinal de flavonoides, específicamente los glucósidos de quercetina que, tras su desglucosilación y su posterior

metabolismo a compuestos conjugados, pueden ser parcialmente utilizados o transferidos a la yema (Kurasiak-Popowska et al., 2022; Palafox-Carlos et al., 2011; Surai et al., 2001). En una investigación realizada por Fan et al. (2021) reportaron que los polifenoles del té compuestos principalmente por flavonoides aumentan su concentración en la yema de huevo y mejora la producción. Kamboh et al. (2019) concluyeron que la suplementación dietética con flavonoides puede utilizarse como estrategia para mejorar la calidad de los huevos en las además de otros efectos positivos en la salud de las aves.

5.5 Estatus oxidativo del plasma: TBARS plasmático

Se reportaron los valores más bajos de MDA para las gallinas con niveles de inclusión de 15% (0,17 $\mu\text{g/ml}$) diferenciándose significativamente de control (0,20 $\mu\text{g/ml}$) y 5%, (0,21 $\mu\text{g/ml}$) observándose en la Figura 13 esto concuerda con lo reportado en la literatura con diferentes fuentes de antioxidantes por ejemplo, Paredes et al. (2025) obtuvieron que gallinas alimentadas con semillas y cáscaras de mango con altos niveles de polifenoles en todos los niveles de inclusión observaban valores de TBARS más bajos que las aves que recibieron la dieta control. Así mismo la inclusión de compuestos con actividad antioxidante en la dieta ha demostrado reducir la oxidación lipídica en carne de pollo, evidenciado por menores valores de TBARS (Smet et al., 2008).

Para realizar una comparación cuantitativa se realizó la conversión entre unidades de MDA en base a su peso molecular de 72.06 g/mol de los trabajos analizados (*Malonaldehyde*, 2024). En suero, gallinas de 80 semanas presentaron 1,91 nmol/ml equivalente a 0,14 $\mu\text{g/ml}$ (Chang et al., 2024). Evaluando gallinas de 52 semanas el grupo control presentó concentraciones de MDA en suero de 9,02 $\mu\text{mol/L}$ (0,65 $\mu\text{g/mL}$), la introducción de tomillo en la dieta redujo estos valores, registrando concentraciones entre 3,74 y 4,47 $\mu\text{mol/L}$ (0,27–0,32 $\mu\text{g/mL}$), sugiriendo que la inclusión de compuestos naturales con actividad antioxidante en la dieta puede contribuir a disminuir el estrés oxidativo en gallinas ponedoras (Abd El-Hack & Alagawany, 2015).

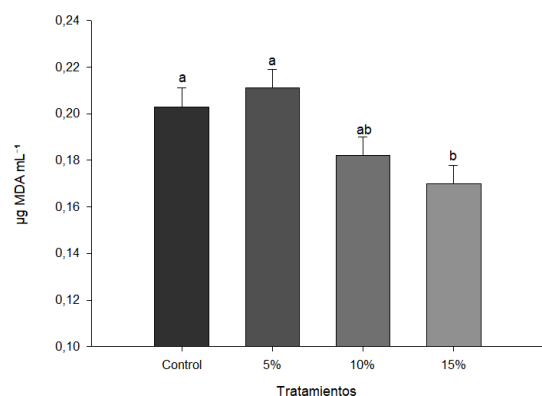
En otra investigación el grupo control también presentó el valor más elevado MDA plasmático, mientras que los grupos suplementados con extracto de semilla de uva registraron valores significativamente menores, que oscilaron entre 7,12 nmol/ml (0,5 $\mu\text{g/ml}$) y 8,68 nmol/ml (0,6 $\mu\text{g/ml}$). Estos resultados evidencian un efecto antioxidante del extracto, reduciendo el daño oxidativo en las aves (Hafeez et al., 2024). Akbarian et

al. (2011) obtuvieron similares resultados para niveles plasmáticos con dosis crecientes de jengibre en la dieta siendo el tratamiento con mayor inclusión que obtuvo niveles más bajos de MDA.

Azad et al. (2021) demostraron que los pollos de engorde alimentados con una dieta suplementada con tocotrienol (vitamina E) con capacidad antioxidante tenían niveles significativamente reducidos de MDA en el músculo pectoral, hígado y plasma independientemente de la carga térmica. Los valores más bajos de MDA se atribuyen a que estos compuestos actúan neutralizando radicales libres y detienen la propagación de las reacciones oxidativas, evitando la degradación de los ácidos grasos poliinsaturados y la formación de productos secundarios como el malonaldehído (Valgimigli, 2023).

Figura 13

Contenido plasmático de MDA en aves alimentadas con camelina



Nota. Los datos son la media $\pm$ EE de $n=6$ muestras de plasma extraídas el día 28 del experimento. a,b: significa diferencia significativa entre dietas (C, 5, 10 y 15%) por Anova de una vía y *post hoc* Test de Tukey- Kramer ($p \leq 0.05$).

6. CONCLUSIÓN

Se puede concluir que la harina de camelina presenta una composición nutricional acorde a lo que se reportó en la literatura destacando un alto contenido de proteínas y compuestos bioactivos.

Se observó un incremento del consumo de alimento, en las dietas de 5 y 10 % y una reducción para la inclusión de 15%. También se detectó una reducción en la postura para 15 % de inclusión, y se registró un mayor peso de huevo en los tratamientos intermedios, lo cual estaría vinculado al mayor consumo. El espesor de la cáscara y el índice de cáscara no presentaron diferencias significativas entre dietas, lo que indica que este parámetro no se ve comprometido por su uso en la dieta. Sin embargo, el color de la yema tendió a disminuir con niveles crecientes de inclusión, dando lugar a tonalidades más pálidas.

Por otro lado, como hallazgo relevante se observaron efectos positivos en el estatus oxidativo, evidenciado por menores valores de TBARS en los tratamientos con mayor inclusión, así como también se registraron aumentos en el contenido de polifenoles y flavonoides en los huevos, especialmente en los niveles más altos.

Los resultados sugieren que la harina de camelina puede ser incorporada en la dieta de gallinas ponedoras sin afectar negativamente la mayoría de los parámetros productivos y de calidad si es utilizada en valores intermedios (5–10 %) presentando un mejor equilibrio entre consumo, respuesta productiva y calidad. Los niveles más elevados podrían aportar beneficios desde el punto de vista antioxidante, pero con limitaciones en el consumo y la producción de huevos.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Abd El-Hack, M. E., & Alagawany, M. (2015). Performance, egg quality, blood profile, immune function, and antioxidant enzyme activities in laying hens fed diets with thyme powder. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 24(2), 127-133.
https://www.researchgate.net/publication/278847987_Performance_egg_quality_blood_profile_immune_function_and_antioxidant_enzyme_activities_in_laying_hens_fed_diets_with_thyme_powder
- Abd El-Hack, M. E., Salem, H. M., Khafaga, A. F., Soliman, S. M., & El-Saadony, M. T. (2022). Impacts of polyphenols on laying hens' productivity and egg quality: A review. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 107(3), 928-947.
<https://doi.org/10.1111/jpn.13758>
- Akbarian, A., Golian, A., Sheikh Ahmadi, A., & Moravej, H. (2011). Effects of ginger root (*Zingiber officinale*) on egg yolk cholesterol, antioxidant status and performance of laying hens. *Journal of Applied Animal Research*, 39(1), 19-21.
<https://doi.org/10.1080/09712119.2011.558612>
- Al-Khalaifah, H. S., Ibrahim, D., Kamel, A. E., Al-Nasser, A., Abdelwarith, A. A., Roushdy, E. M., Sheraiba, N. I., Shafik, B. M., El-Badry, S. M., Younis, E. M., Mamdouh, M., Mohamed Yassin, E., Davies, S. J., & Kishawy, A. T. Y. (2024). Enhancing the impact of dietary nano-formulated quercetin on laying performance: Egg quality, oxidative stability of stored eggs, intestinal immunoexpression, and antioxidant-related gene expression. *BMC Veterinary Research*, 20, Artículo e494. <https://doi.org/10.1186/s12917-024-04327-x>
- Alleoni, A. C. C., & Antunes, A. J. (2001). Unidade Haugh como medida da qualidade de ovos de galinha armazenados sob refrigeração. *Scientia Agricola*, 58(4), 681-685. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162001000400005>
- Andrade-Yucailla, V., Calderón-Tobar, A., Chávez-García, D., Valle Vega, L., Avilés Esquivel, D., & Navas-González, F. J. (2024). Análisis de la calidad del huevo de gallinas criollas (*Gallus domesticus*) a diferentes días de conservación al ambiente en la Amazonia ecuatoriana. *Archivos de Zootecnia*, 73(284), 282-287.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9774998>
- Angelini, L. G., Abou Chehade, L., Foschi, L., & Tavarini, S. (2020). Performance and potentiality of camelina (*Camelina sativa* L. Crantz) genotypes in response to sowing date under Mediterranean environment. *Agronomy*, 10(12), Artículo e1929. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121929>

- Aparicio, A., Salas, M. D., Cuadrado-Soto, E., Ortega, R. M., & López-Sobaler, A. M. (2018). El huevo como fuente de antioxidantes y componentes protectores frente a procesos crónicos. *Nutrición Hospitalaria*, 35(6), 36-40.
https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112018001200009
- Astiasarán, I., & Martínez, J. A. (2000). *Alimentos: Composición y propiedades* (2ª ed.). McGraw-Hill. <https://fcen.uncuyo.edu.ar/upload/alimentos-composicion-y-propiedades.pdf>
- Avello, M., & Suwalsky, M. (2006). Radicales libres, antioxidantes naturales y mecanismos de protección. *Atenea*, (494), 161-172.
<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-04622006000200010>
- Azad, M. A. K., Kikusato, M., Zulkifli, I., Rahman, M. M., Ali, M. S., Hashem, M. A., & Toyomizu, M. (2021). Comparative study of certain antioxidants-electrolyzed reduced water, tocotrienol and vitamin E in heat-induced oxidative damage and performance in broilers. *Meat Research*, 1(1), Artículo e7.
<https://doi.org/10.55002/mr.1.1.7>
- Aziza, A. E., Panda, A. K., Quezada, N., & Cherian, G. (2013). Nutrient digestibility, egg quality, and fatty acid composition of brown laying hens fed camelina or flaxseed meal. *Journal of Applied Poultry Research*, 22(4), 832-841.
<https://doi.org/10.3382/japr.2013-00735>
- Aziza, A. E., Quezada, N., & Cherian, G. (2010). Feeding *Camelina sativa* meal to meat-type chickens: Effect on production performance and tissue fatty acid composition. *Journal of Applied Poultry Research*, 19(2), 157-168.
<https://doi.org/10.3382/japr.2009-00100>
- Bag, G., Devi, P. G., & Bhaigyabati, T. (2015). Assessment of total flavonoid content and antioxidant activity of methanolic rhizome extract of three *Hedychium* species of Manipur Valley. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 30(1), 154-159.
<http://globalresearchonline.net/journalcontents/v30-1/28.pdf>
- Bain, M. M., Nys, Y., & Dunn, I. C. (2016). Increasing persistency in lay and stabilising egg quality in longer laying cycles: What are the challenges? *British Poultry Science*, 57(3), 330-338. <https://doi.org/10.1080/00071668.2016.1161727>
- Banaszkiewicz, T. (2011). Nutritional value of soybean meal. En H. El-Shemy (Ed.), *Soybean and nutrition* (pp. 1-20). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/23306>

- Bernardo, A., Howard-Hildige, R., O'Connell, A., Nichol, R., Ryan, J., Rice, B., Roche, E., & Leahy, J. J. (2003). Camelina oil as a fuel for diesel transport engines. *Industrial Crops and Products*, 17(3), 191-197. [https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(02\)00098-5](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(02)00098-5)
- Berti, M., Johnson, B., Ripplinger, D., Gesch, R., & Aponte, A. (2017). Environmental impact assessment of double- and relay-cropping with winter camelina in the northern Great Plains, USA. *Agricultural Systems*, 156, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.05.012>
- Blum, A., Narbondo, I., & Oyhantcabal, G. (2008). ¿Dónde nos lleva el camino de la soja? *Sojización a la uruguaya: Principales impactos socioambientales*. RAP-AL. https://www.rapaluruaguay.org/sitio_1/transgenicos/Soja/El_camino_de_la_soja.pdf
- Buege, J. A., & Aust, S. D. (1978). Microsomal lipid peroxidation. En S. Fleischer & L. Packer (Eds.), *Methods in enzymology* (Vol. 52, pp. 302-310). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(78\)52032-6](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(78)52032-6)
- Cabrera, M. C., Ramos, A., Saadoun, A., & Brito, G. (2010). Selenium, copper, zinc, iron and manganese content of seven meat cuts from Hereford and Braford steers fed pasture in Uruguay. *Meat Science*, 84(3), 518-528. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.10.007>
- Cali Tixi, L. E. (2022). *Alimentación con diferentes fuentes de polifenoles en gallinas ponedoras* [Trabajo final de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio Académico de la producción intelectual de la Comunidad Politécnica. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/17837/1/17T01788.pdf>
- Carbajal Azcona, Á. (2005). Hábitos de consumo de carne de pollo y huevos: Calidad nutricional y relación con la salud. En Asociación Española de Ciencia Avícola (Org.), *XLII Symposium Científico de Avicultura* (pp. 51-72). <https://www.ucm.es/data/cont/docs/458-2013-07-24-carbajalAECAXLII2005T-1.pdf>
- Castro-Barquero, S., Shahbaz, M., Estruch, R., & Casas, R. (2020). Cardiovascular protection by dietary polyphenols. En A. Cifuentes (Ed.), *Comprehensive foodomics* (pp. 625-635). Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22894-1>
- Cerisuelo, A., Ferrer, P., Gómez, E. Á., Woyengo, T. A., Stein, H. H., Martínez, M., Cano, J. L., & Piquer, O. (2023). Nutritional value of Spanish *Camelina sativa* co-products for pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 301, Artículo e115665. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2023.115665>

- Chang, X., Wang, B., Zhang, H., Qiu, K., & Wu, S. (2024). The change of albumen quality during the laying cycle and its potential physiological and molecular basis of laying hens. *Poultry Science*, 103(10), Artículo e104004. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104004>
- Chedea, V. S., Pelmuş, R. Ş., Toma, S., Țăranu, I., Grosu, H., & Dragomir, C. (2014). Evaluation of camelina meal as a dietary source of polyphenol for dairy cows. *Bulletin UASVM Animal Science and Biotechnologies*, 71(2), 279-280. <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-asb:10534>
- Chen, Y., Chen, H., Li, W., Miao, J., Chen, N., Shao, X., & Cao, Y. (2018). Polyphenols in *Eucalyptus* leaves improved the egg and meat qualities and protected against ethanol-induced oxidative damage in laying hens. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 102(1), 214-223. <https://doi.org/10.1111/jpn.12680>
- Cherian, G. (2012). *Camelina sativa* in poultry diets: Opportunities and challenges. En H. P. S. Makkar (Ed.), *Biofuel co-products as livestock feed: Opportunities and challenges* (pp. 303-310). FAO. <https://www.fao.org/4/i3009e/i3009e06.pdf>
- Cherian, G., Campbell, A., & Parker, T. (2009). Egg quality and lipid composition of eggs from hens fed *Camelina sativa*. *Journal of Applied Poultry Research*, 18(2), 143-150. <https://doi.org/10.3382/japr.2008-00070>
- Cherian, G., & Quezada, N. (2016). Egg quality, fatty acid composition and immunoglobulin Y content in eggs from laying hens fed full fat camelina or flax seed. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 7(1), Artículo e15. <https://doi.org/10.1186/s40104-016-0075-y>
- Chipana Torres, A. J., & Ayme Gonzales, A. G. (2025). *Mejoramiento de los procesos de producción en una empresa dedicada a la producción de huevos* [Trabajo final de grado, Universidad Peruana de Ciencias e Informática] Repositorio Institucional UPCI. <http://repositorio.upci.edu.pe/handle/upci/1465>
- Coronado, M., Vega y León, S., Gutiérrez, R., Vázquez, M., & Radilla, C. (2015). Antioxidantes: Perspectiva actual para la salud humana. *Revista Chilena de Nutrición*, 42(2), 206-212. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182015000200014>
- da Silva, A., Cabrera-Bascardal, M., Terevinto-Herrera, A., & Saadoun-Bachotet, A. (2023). Polifenoles, flavonoides y aminoácidos aromáticos en yemas y claras de huevos free range frescas y conservadas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 73(Suppl. 1), 288. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222023000500515

- Delgado, M. del M., Lobo, C., Plaza, A., Capuano, A., Hernando, G., Prieto, J., Miralles de Imperial, R., & Valero Martín, J. (2016). Efecto residual provocado por dos lodos de depuradora procedentes de un ensayo de fitorremediación con cardo en un cultivo de camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) en Madrid. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 48(2), 13-30. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-86652016000200002&lng=es&tlng=es
- Delver, J. J., & Smith, Z. K. (2024). Opportunities for camelina meal as a livestock feed ingredient. *Agriculture*, 14(1), Artículo e116. <https://doi.org/10.3390/agriculture14010116>
- Eisen, E. J., Bohren, B. B., & McKean, H. E. (1962). The Haugh unit as a measure of egg albumen quality. *Poultry Science*, 41(5), 1461-1468. <https://doi.org/10.3382/ps.0411461>
- European Food Safety Authority. (2008). Glucosinolates as undesirable substances in animal feed: Scientific opinion of the panel on contaminants in the food chain. *EFSA Journal*, 6(1), Artículo e590. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2008.590>
- Fan, Z., Li, L., Qin, M., Zhang, Z., Zhang, K., Wang, Q., Wu, C., Zhang, Y., & Mao, S. (2021). Effects of dietary tea polyphenols on epigallocatechin gallate, catechin, egg quality and production of *Gallus domestica*. *International Journal of Agriculture and Biology*, 25(1), 139-145. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.1648>
- Ferrari, E. D., & Girotti, D. (2023). *Camelina sativa* L: Una alternativa en la región semiárida. *Semiárida*, 33(2), 57-64. [https://doi.org/10.19137/semiarida.2023\(2\).57-64](https://doi.org/10.19137/semiarida.2023(2).57-64)
- Fletcher, D. L. (1979). An evaluation of the AOAC method of yolk color analysis. *Poultry Science*, 59(5), 1059-1066. <https://doi.org/10.3382/ps.0591059>
- Frame, D. D., Palmer, M., & Peterson, B. (2007). Use of *Camelina sativa* in the diets of young turkeys. *Journal of Applied Poultry Research*, 16(3), 381-386. <https://doi.org/10.1093/japr/16.3.381>
- Ghidoli, M., Pesenti, M., Colombo, F., Nocito, F. F., Pilu, R., & Araniti, F. (2023). *Camelina sativa* (L.) crantz as a promising cover crop species with allelopathic potential. *Agronomy*, 13(8), Artículo e2187. <https://doi.org/10.3390/agronomy13082187>
- González Mateos, G., Cámara García, L., Fernández de Juan, Á., Aguirre Toribio, L. A., & Fondevila Lobera, G. (2019). Factores antinutricionales de los ingredientes y su impacto en alimentación de aves y porcino. En P. G. Rebollar, C. de Blas y G. G. Mateos (Coords.), *XXXV Curso de Especialización FEDNA: Avances en nutrición y alimentación animal* (pp. 113-132). FEDNA. <https://oa.upm.es/64962/>

- Gu, Y. F., Chen, Y. P., Jin, R., Wang, C., Wen, C., & Zhou, Y. M. (2021). Age-related changes in liver metabolism and antioxidant capacity of laying hens. *Poultry Science*, 100(12), Artículo e101478. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101478>
- Guendouz, A., Hannachi, A., Benidir, M., Fellahi, Z. E. A., & Frih, B. (2022). Agro-biochemical characterisation of *Camelina sativa*: A review. *Agricultural Reviews*, 43(3), 278-287. <https://doi.org/10.18805/ag.RF-230>
- Hafeez, A., Ullah, S., Naz, S., Alrefaei, A. F., Khan, R. U., Abdelrahman, S. H., Losacco, C., & Selvaggi, M. (2024). Effect of dietary polyphenol-rich grape (*Vitis vinifera*) seed extract supplementation on production performance, egg quality, plasma MDA, reproductive performance and faecal microbiota of golden laying hens. *Journal of Applied Animal Research*, 52(1), Artículo e2365748. <https://doi.org/10.1080/09712119.2024.2365748>
- Hajiazizi, F., Sadeghi, A., & Ibrahim, S. (2024). *Camelina sativa* (L. Crantz) products: An alternative feed ingredient for poultry diets with its nutritional and physiological consequences. *Tropical Animal Health and Production*, 56(2), Artículo e59. <https://doi.org/10.1007/s11250-024-03904-4>
- Hajiazizi, F., Sadeghi, A., & Karimi, A. (2023). The effects of dietary inclusion of *Camelina sativa* on performance and ascites incidence in broilers subjected to cold exposure. *Veterinary Medicine and Science*, 9(4), 1711-1725. <https://doi.org/10.1002/vms3.1185>
- Halecki, W., & Klatka, S. (2018). Long term growth of crop plants on experimental plots created among slag heaps. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 147, 86-92. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.08.025>
- Harms, R. H., Costa, P. T., & Miles, R. D. (1982). Daily feed intake and performance of laying hens grouped according to their body weight. *Poultry Science*, 61(6), 1021-1024. <https://doi.org/10.3382/ps.0611021>
- Hurtaud, C., & Peyraud, J. L. (2007). Effects of feeding camelina (seeds or meal) on milk fatty acid composition and butter spreadability. *Journal of Dairy Science*, 90(11), 5134-5145. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0031>
- İskender, H., Yenice, G., Dokumacioglu, E., Kaynar, O., Hayirli, A., & Kaya, A. (2016). The effects of dietary flavonoid supplementation on the antioxidant status of laying hens. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 18(4), 663-668. <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2016-0356>

- Jooshakipour, Z., Alipour, D., Abarghuei, M. J., & Aliarabi, H. (2025). Replacement of soybean meal with camelina meal in diet of fattening lambs: Influence on feed intake, performance and ruminal fermentation parameters. *Small Ruminant Research*, 253, Artículo e107621. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2025.107621>
- Kakabouki, I., Tataridas, A., Mavroeidis, A., Kousta, A., Roussis, I., Katsenios, N., Efthimiadou, A., & Papastylianou, P. (2021). Introduction of alternative crops in the Mediterranean to satisfy EU Green Deal goals: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(6), Artículo e71. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00725-9>
- Kakani, R., Fowler, J., Haq, A.-U., Murphy, E. J., Rosenberger, T. A., Berhow, M., & Bailey, C. A. (2012). Camelina meal increases egg n-3 fatty acid content without altering quality or production in laying hens. *Lipids*, 47(5), 519-526. <https://doi.org/10.1007/s11745-012-3656-3>
- Kamboh, A. A., Leghari, R. A., Khan, M. A., Kaka, U., Naseer, M., Sazili, A. Q., & Malhi, K. K. (2019). Flavonoids supplementation: An ideal approach to improve quality of poultry products. *World's Poultry Science Journal*, 75(1), 115-126. <https://doi.org/10.1017/S0043933918000703>
- Karunajeewa, H. (1984). Factores influyentes en la pigmentación de la yema del huevo. *Selecciones Avícolas*, 26(9), 295-302. <https://ddd.uab.cat/record/78123>
- Krzyżaniak, M., Stolarski, M., Graban, Ł., Lajszner, W., & Kuriata, T. (2020). Camelina and crambe oil crops for bioeconomy—Straw utilisation for energy. *Energies*, 13(6), Artículo e1503. <https://doi.org/10.3390/en13061503>
- Kurasiak-Popowska, D., Graczyk, M., Przybylska-Balcerek, A., Stuper-Szablewska, K., & Szwajkowska-Michałek, L. (2022). An analysis of variability in the content of phenolic acids and flavonoids in camelina seeds depending on weather conditions, functional form, and genotypes. *Molecules*, 27(11), Artículo e3364. <https://doi.org/10.3390/molecules27113364>
- Lanza, M., Battelli, M., Gallo, L., Soglia, F., Bovera, F., Giunta, F., Primi, R., Biondi, L., Giannuzzi, D., Zampiga, M., Addeo, N. F., Cannas, A., Danieli, P. P., Ronchi, B., & Crovetto, G. M. (2025). Sustainability of animal production chains: Alternative protein sources as an ecological driver in animal feeding: A review. *Animals*, 15(22), Artículo e3245. <https://doi.org/10.3390/ani15223245>
- Lawrence, R. D., Anderson, J. L., & Clapper, J. A. (2016). Evaluation of camelina meals as a feedstuff for growing dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, 99(8), 6215-6228. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-10876>

- Li, F., Xu, L. M., Shan, A. S., Hu, J. W., Zhang, Y. Y., & Li, Y. H. (2011). Effect of daily feed intake in laying period on laying performance, egg quality and egg composition of genetically fat and lean lines of chickens. *British Poultry Science*, 52(2), 163-168. <https://doi.org/10.1080/00071668.2011.559455>
- Lolli, S., Grilli, G., Ferrari, L., Battelli, G., Pozzo, S., Galasso, I., Russo, R., Brasca, M., Reggiani, R., & Ferrante, V. (2020). Effect of different percentage of *Camelina sativa* cake in laying hens diet: Performance, welfare, and eggshell quality. *Animals*, 10(8), Artículo e1396. <https://doi.org/10.3390/ani10081396>
- Londoño Londoño, J. A. (2011). Antioxidantes: Importancia biológica y métodos para medir su actividad. En Corporación Universitaria Lasallista (Ed.), *Desarrollo y transversalidad* (pp. 129-162). <https://repository.unilasallista.edu.co/server/api/content/bitstreams/644cf50e-dc86-46a6-aa24-309dd11674db/content>
- López-Sobaler, A. M., Aparicio Vizuite, A., & Ortega, R. M. (2017). Papel del huevo en la dieta de deportistas y personas físicamente activas. *Nutrición Hospitalaria*, 34(Supl. 4), 31-35. https://scielo.isciii.es/pdf/nh/v34s4/06_lopez.pdf
- Luise, D., Correa, F., Cestonaro, G., Sattin, E., Conte, G., Mele, M., Archetti, I., Viridis, S., Negrini, C., Galasso, I., Stefanelli, C., Mazzoni, M., Nataloni, L., Trevisi, P., & Costanzo, E. (2024). Effect of different doses of camelina cake inclusion as a substitute of dietary soyabean meal on growth performance and gut health of weaned pigs. *British Journal of Nutrition*, 131(12), 1962-1974. <https://doi.org/10.1017/S0007114524000722>
- Mabe, I., Rapp, C., Bain, M. M., & Nys, Y. (2003). Supplementation of a corn-soybean meal diet with manganese, copper, and zinc from organic or inorganic sources improves eggshell quality in aged laying hens. *Poultry Science*, 82(12), 1903-1913. <https://doi.org/10.1093/ps/82.12.1903>
- Madrigal-Portilla, J., Salas-Durán, C., & Macaya-Quirós, S. (2023). Efecto de temperatura y tiempo de almacenamiento sobre la calidad del huevo de gallinas. *Agronomía Mesoamericana*, 34(2), Artículo e51223. <https://www.redalyc.org/journal/437/43774024007/43774024007.pdf>
- Malonaldehyde. (2024). PubChem. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/10964>
- Mañay Maquisaca, B. D. (2019). *Efecto productivo y sanitario de la Matricaria chamomilla (manzanilla) y el Capsicum frutescens (ají de galinazo) en la producción de pollos broiler* [Trabajo final de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio Académico de la producción intelectual de la Comunidad Politécnica. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13298/1/17T01577.pdf>

- Masella, P., Martinelli, T., & Galasso, I. (2014). Agronomic evaluation and phenotypic plasticity of *Camelina sativa* growing in Lombardia, Italy. *Crop & Pasture Science*, 65(5), 453-460. <https://doi.org/10.1071/CP14025>
- Mateos, R., Lecumberri, E., Ramos, S., Goya, L., & Bravo, L. (2005). Determination of malondialdehyde (MDA) by high-performance liquid chromatography in serum and liver as a biomarker for oxidative stress: Application to a rat model for hypercholesterolemia and evaluation of the effect of diets rich in phenolic antioxidants from fruits. *Journal of Chromatography B*, 827(1), 76-82. [https://doi.org/ https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2005.06.035](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2005.06.035)
- Melough, M. M., Chung, S.-J., Fernandez, M. L., & Chun, O. K. (2019). Association of eggs with dietary nutrient adequacy and cardiovascular risk factors in US adults. *Public Health Nutrition*, 22(11), 2033-2042. <https://doi.org/10.1017/S1368980019000211>
- Mongin, P. (1965). Index de solidité de la coquille de l'œuf: Ses significations—Sa précision. *Annales de Zootechnie*, 14(4), 319-325. <https://hal.science/hal-00886853/document>
- Moreno Díaz, M. J. (2021). *Nuevos alimentos para el cebo de terneros: Efectos sobre los resultados productivos, las características de la canal y la calidad de la carne* [Disertación doctoral, Universidad de Córdoba]. Helvia. <http://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/21599>
- Moreno, F. L. V., Ton, A. P. S., Rosa, C. M. G., & de Freitas, L. W. (2021). Uso de insectos como alternativa en la nutrición avícola: Revisión. *Research, Society and Development*, 10(3), Artículo e25810313274. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i3.13274>
- Moser, B. R. (2010). Camelina (*Camelina sativa* L.) oil as a biofuels feedstock: Golden opportunity or false hope? *Lipid Technology*, 22(12), 270-273. <https://doi.org/10.1002/lite.201000068>
- Muhammad, A. I., Mohamed, D. A. A., Chwen, L. T., Akit, H., & Samsudin, A. A. (2021). Effect of sodium selenite, selenium yeast, and bacterial enriched protein on chicken egg yolk color, antioxidant profiles, and oxidative stability. *Foods*, 10(4), Artículo e871. <https://doi.org/10.3390/foods10040871>
- Navarro González, I., Periago, M. J., & García Alonso, F. J. (2017). Estimación de la ingesta diaria de compuestos fenólicos en la población española. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 21(4), 320-326. <https://dx.doi.org/10.14306/renhyd.21.4.357>

- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2025). *Anuario Estadístico Agropecuario 2025*. MGAP. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-estadistico-agropecuario-2025>
- Omri, B., Alloui, N., Durazzo, A., Lucarini, M., Aiello, A., Romano, R., Santini, A., & Abdouli, H. (2019). Egg yolk antioxidants profiles: Effect of diet supplementation with linseeds and tomato-red pepper mixture before and after storage. *Foods*, 8(8), Artículo e320. <https://doi.org/10.3390/foods8080320>
- Orczewska-Dudek, S., & Pietras, M. (2019). The effect of dietary *Camelina sativa* oil or cake in the diets of broiler chickens on growth performance, fatty acid profile, and sensory quality of meat. *Animals*, 9(10), Artículo e734. <https://doi.org/10.3390/ani9100734>
- Paarlberg, R. (2014). A dubious success: The NGO campaign against GMOs. *GM Crops & Food*, 5(3), 223-228. <https://doi.org/10.4161/21645698.2014.952204>
- Palafox-Carlos, H., Ayala-Zavala, J. F., & González-Aguilar, G. A. (2011). The role of dietary fiber in the bioaccessibility and bioavailability of fruit and vegetable antioxidants. *Journal of Food Science*, 76(1), R6-R15. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01957.x>
- Panaite, T. D., Nour, V., Saracila, M., Turcu, R. P., Untea, A. E., & Vlaicu, P. A. (2021). Effects of linseed meal and carotenoids from different sources on egg characteristics, yolk fatty acid and carotenoid profile and lipid peroxidation. *Foods*, 10(6), Artículo e1246. <https://doi.org/10.3390/foods10061246>
- Paredes, M., Tafur, L., Cáceres, R., & Vilela, L. (2025). Efectos de la suplementación dietaria con extracto etanólico de semilla y cáscara de mango sobre el desempeño productivo, calidad de huevo, capacidad antioxidante y pigmentación de la yema de huevo en gallinas ponedoras. *Veterinaria (Montevideo)*, 61(Suppl. 1), Artículo e130. <https://www.revistasmvu.com.uy/index.php/smvu/article/view/1526>
- Parisi, G., Tulli, F., Fortina, R., Marino, R., Bani, P., Dalle Zotte, A., De Angelis, A., Piccolo, G., Pinotti, L., Schiavone, A., Terova, G., Prandini, A., Gasco, L., Roncarati, A., & Danieli, P. P. (2020). Protein hunger of the feed sector: The alternatives offered by the plant world. *Italian Journal of Animal Science*, 19(1), 1204-1225. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2020.1827993>
- Parrini, S., Aquilani, C., Pugliese, C., Bozzi, R., & Sirtori, F. (2023). Soybean replacement by alternative protein sources in pig nutrition and its effect on meat quality. *Animals*, 13(3), Artículo e494. <https://doi.org/10.3390/ani13030494>

- Parven, A., Meftaul, I. M., Venkateswarlu, K., & Megharaj, M. (2025). Herbicides in modern sustainable agriculture: Environmental fate, ecological implications, and human health concerns. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 22(2), 1181-1202. <https://doi.org/10.1007/s13762-024-05818-y>
- Patthamakanokporn, O., Puwastien, P., Nitithamyong, A., & Sirichakwal, P. P. (2008). Changes of antioxidant activity and total phenolic compounds during storage of selected fruits. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21(3), 241-248. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2007.10.002>
- Pekel, A. Y., Kim, J. I., Chapple, C., & Adeola, O. (2015). Nutritional characteristics of camelina meal for 3-week-old broiler chickens. *Poultry Science*, 94(3), 371-378. <https://doi.org/10.3382/ps/peu066>
- Pekel, A. Y., Patterson, P. H., Hulet, R. M., Acar, N., Cravener, T. L., Dowler, D. B., & Hunter, J. M. (2009). Dietary camelina meal versus flaxseed with and without supplemental copper for broiler chickens: Live performance and processing yield. *Poultry Science*, 88(11), 2392-2398. <https://doi.org/10.3382/ps.2009-00051>
- Peñagaricano Sosa, E. (2018). *Valorización de los productos y subproductos de Camelina sativa para su utilización en dietas de gallinas ponedoras* [Tesis de maestría, Universitat Politècnica de València]. RiuNet. <https://riunet.upv.es/handle/10251/115341>
- Pérez, G. (2003). Los flavonoides: Antioxidantes o prooxidantes. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 22(1), 48-57.
- Pérez-Palencia, J. Y., & Bolívar-Sierra, A. F. (2023). Alimentos alternativos en combinación con suplementación enzimática para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de la producción porcina y avícola. *Orinoquia*, 27(1), Artículo e787. <https://doi.org/10.22579/20112629.787>
- Pietras, M. P., Orczewska-Dudek, S., & Gąsior, R. (2012). Effect of diet with *Camelina sativa* oil on the performance of laying hens, chemical composition of egg yolk lipids and sensory quality of eggs. *Rocznik Naukowy Zootechniki*, 39(2), 273-286.
- Quintanar, M. A., & Calderón, J. V. (2009). La capacidad antioxidante total: Bases y aplicaciones. *Revista de Educación Bioquímica*, 28(3), 89-101. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=37157>
- Rahman, M. J. (2017). *Phenolic and polyphenolic profiles of defatted camelina, chia and sophia seeds and their in vitro antioxidant and biological activities* [Tesis de maestría, Memorial University of Newfoundland]. Memorial University Research Repository. <https://memorial.scholaris.ca/items/c2d653fc-0b56-45a9-ae72-56b467ae15f6>

- Riaz, R., Ahmed, I., Sizmaz, O., & Ahsan, U. (2022). Use of *Camelina sativa* and by-products in diets for dairy cows: A review. *Animals*, 12(9), Artículo e1082. <https://doi.org/10.3390/ani12091082>
- Ribaya-Mercado, J. D., & Blumberg, J. B. (2004). Lutein and zeaxanthin and their potential roles in disease prevention. *Journal of the American College of Nutrition*, 23(suppl. 6), 567S-587S. <https://doi.org/10.1080/07315724.2004.10719427>
- Roberts, J. R. (2004). Factors affecting egg internal quality and egg shell quality in laying hens. *The Journal of Poultry Science*, 41(3), 161-177. <https://doi.org/10.2141/jpsa.41.161>
- Rokka, T., Alén, K., Valaja, J., & Ryhänen, E.-L. (2002). The effect of a diet enriched with *Camelina sativa* on the composition and sensory quality of hen eggs. *Food Research International*, 35(2-3), 253-256. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(01\)00193-4](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(01)00193-4)
- Rosabal Nava, O., Martínez Aguilar, Y., Rodríguez Bertot, R., Pupo Torres, G., Olmo González, C., & Más Toro, D. (2017). Efecto de la suplementación dietética del polvo de hojas de *Anacardium occidentale* L. (marañón) en la producción y calidad del huevo de gallinas ponedoras. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 22(1). <https://www.medigraphic.com/pdfs/revcubplamed/cpm-2017/cpm171f.pdf>
- Rosales, E., Fernández, S., & Ruiz, P. (2010). *Calidad de huevo en reproductoras y su impacto en los nacimientos*. <https://www.milongaonline.com.ar/docs/Calidad%20del%20huevo.pdf>
- Russo, R., & Reggiani, R. (2018). Antioxidants in flour of the oilseed crop *Camelina sativa* (L.) Crantz. *International Journal of Plant Biology*, 9(1). Artículo e7659. <https://doi.org/10.4081/pb.2018.7659>
- Ryhänen, E., Perttilä, S., Tupasela, T., Valaja, J., Eriksson, C., & Larkka, K. (2007). Effect of *Camelina sativa* expeller cake on performance and meat quality of broilers. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(8), 1489-1494. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2864>
- Salas, H., Castillejos, L., & Ferret, A. (2017). Caracterización nutricional y determinación de la digestibilidad *in vitro* de la harina, la torta y la cascarilla de camelina. En Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (Ed.), *XVII Jornadas sobre Producción Animal* (pp. 147-149). https://www.aida-itea.org/aida-itea/files/jornadas/2017/comunicaciones/2017_NyA_21.pdf

- Salas Olive, H. S. (2020). *Tortó de camelina i farina de camelina en els pinsos per a l'engreix de vedells* [Disertación doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona]. TDX. <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/671932/hso1del1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Samanta, A., Das, G., & Das, S. K. (2011). Roles of flavonoids in plants. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Technology*, 6(1), 12-35. https://www.researchgate.net/publication/279499208_Roles_of_flavonoids_in_Plants
- Silversides, F. G., & Budgell, K. (2004). The relationships among measures of egg albumen height, pH, and whipping volume. *Poultry Science*, 83(10), 1619-1623. <https://doi.org/10.1093/ps/83.10.1619>
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. En L. Packer (Ed.), *Methods in enzymology* (Vol. 299, pp. 152-178). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Smet, K., Raes, K., Huyghebaert, G., Haak, L., Arnouts, S., & De Smet, S. (2008). Lipid and protein oxidation of broiler meat as influenced by dietary natural antioxidant supplementation. *Poultry Science*, 87(8), 1682-1688. <https://doi.org/10.3382/ps.2007-00384>
- Smit, M. N., & Beltranena, E. (2017). Effects of feeding camelina cake to weaned pigs on safety, growth performance, and fatty acid composition of pork. *Journal of Animal Science*, 95(6), 2496-2508. <https://doi.org/10.2527/jas.2016.1265>
- Souki, A., Cano, C., Mengual, E., García, D., Torres, D., Almarza, J., Urdaneta, Y., León, L., Chávez, Z., Molero, E., Medina, M., & Amell, A. (2007). Marcadores biológicos de estrés oxidativo: Distribución por edad y sexo de las concentraciones basales de MDA, NO y ácido úrico en niños y adolescentes de Maracaibo-Venezuela. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 26(2), 92-97. https://www.revistaavft.com/images/revistas/2007/avft_2_2007/marcadores.pdf
- Soutullo, A., Ríos, M., Zaldúa, N., & Teixeira-de-Mello, F. (2020). Soybean expansion and the challenge of the coexistence of agribusiness with local production and conservation initiatives: Pesticides in a Ramsar site in Uruguay. *Environmental Conservation*, 47(2), 97-103. <https://doi.org/10.1017/S0376892920000089>
- Suay Costa, M. I. (2019). *Rendimiento productivo y evaluación de la calidad del huevo en gallinas ponedoras alimentadas con torta de Camelina sativa con o sin adición de enzimas exógenas* [Trabajo final de grado, Universitat Politècnica de València]. RiuNet. <https://riunet.upv.es/bitstreams/6f115e9e-a75f-4cf4-baa2-e76c8414a51e/download>

- Sun, C. J., Chen, S. R., Xu, G. Y., Liu, X. M., & Yang, N. (2012). Global variation and uniformity of eggshell thickness for chicken eggs. *Poultry Science*, 91(10), 2718-2721. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02220>
- Surai, P. F., Speake, B. K., & Sparks, N. H. C. (2001). Carotenoids in avian nutrition and embryonic development: 1. Absorption, availability and levels in plasma and egg yolk. *The Journal of Poultry Science*, 38(1), 1-27. <https://doi.org/10.2141/jpsa.38.1>
- Sydor, M., Kurasiak-Popowska, D., Stuper-Szablewska, K., & Rogoziński, T. (2022). *Camelina sativa*: Status quo and future perspectives. *Industrial Crops and Products*, 187(Part B), Artículo e115531. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115531>
- Tallaksen, J., Johnston, L., Gesch, R., Forcella, F., & Li, Y. (2025). Organic *Camelina sativa* meal as a replacement for soybean meal in swine finishing diets: A life cycle analysis perspective. *Sustainability*, 17(4), Artículo e1443. <https://doi.org/10.3390/su17041443>
- Terpinc, P., Polak, T., Makuc, D., Ulrih, N. P., & Abramovič, H. (2012). The occurrence and characterisation of phenolic compounds in *Camelina sativa* seed, cake and oil. *Food Chemistry*, 131(2), 580-589. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.09.033>
- Tripathi, M. K., & Mishra, A. S. (2007). Glucosinolates in animal nutrition: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 132(1-2), 1-27. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.03.003>
- Tsao, R. (2010). Chemistry and biochemistry of dietary polyphenols. *Nutrients*, 2(12), 1231-1246. <https://doi.org/10.3390/nu2121231>
- Tůmová, E., Uhlířová, L., Tůma, R., Chodová, D., & Máchal, L. (2017). Age related changes in laying pattern and egg weight of different laying hen genotypes. *Animal Reproduction Science*, 183, 21-26. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2017.06.006>
- United States Department of Agriculture. (2000). *United States standards, grades, and weight classes for shell eggs: AMS 56*. https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/Shell_Egg_Standard%5B1%5D.pdf
- Valencia-Avilés, E., Ignacio-Figueroa, I., Sosa-Martínez, E., Bartolomé-Camacho, M. C., Martínez-Flores, H. E., & García-Pérez, M.-E. (2017). Polifenoles: Propiedades antioxidantes y toxicológicas. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas*, (16), 15-29. <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/quimica/article/view/1583/1238>

- Valgimigli, L. (2023). Lipid peroxidation and antioxidant protection. *Biomolecules*, 13(9), Artículo e1291. <https://doi.org/10.3390/biom13091291>
- van Huis, A., Dicke, M., & van Gurp, H. (2014). *The insect cookbook: Food for a sustainable planet*. Columbia University Press. <https://doi.org/10.7312/columbia/9780231166843.001.0001>
- Vargas-Rincón, C., Sánchez-León, G., & Jiménez-Morales, P. (2013). La producción de metabolitos secundarios en la familia Brassicaceae. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 9(2), 282-305. https://www.researchgate.net/publication/305196626_La_Produccion_de_Metabolitos_Secundarios_en_la_Familia_Brassicaceae
- Venegas Ponce, J. P. (2018). *Evaluación del uso de harina de Camelina sativa como sustituto parcial de alimento comercial a distintos porcentajes en la dieta de la trucha arcoíris (Oncorhynchus mykiss)* [Trabajo final de grado, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso]. Bibliotecas PUCV, Catálogo de recursos bibliográficos. http://opac.pucv.cl/pucv_txt/Txt-8000/UCC8311_01.pdf
- Vlaicu, P. A., & Panaite, T. D. (2021). Effect of dietary pumpkin (*Cucurbita moschata*) seed meal on layer performance and egg quality characteristics. *Animal Bioscience*, 35(2), 236-246. <https://doi.org/10.5713/ab.21.0044>
- Vlaicu, P. A., Panaite, T. D., & Turcu, R. P. (2021). Enriching laying hens eggs by feeding diets with different fatty acid composition and antioxidants. *Scientific Reports*, 11(1), Artículo e20707. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-00343-1>
- Vollmann, J., & Eynck, C. (2015). Camelina as a sustainable oilseed crop: Contributions of plant breeding and genetic engineering. *Biotechnology Journal*, 10(4), 525-535. <https://doi.org/10.1002/biot.201400200>
- Vuilleumier, J. P. (1969). The 'Roche Yolk Colour Fan': An instrument for measuring yolk colour. *Poultry Science*, 48(3), 767-779. <https://doi.org/10.3382/ps.0480767>
- Wilkinson, J. M. (2011). Re-defining efficiency of feed use by livestock. *Animal*, 5(7), 1014-1022. <https://doi.org/10.1017/S175173111100005X>
- Woyengo, T. A., Patterson, R., Slominski, B. A., Beltranena, E., & Zijlstra, R. T. (2016). Nutritive value of cold-pressed camelina cake with or without supplementation of multi-enzyme in broiler chickens. *Poultry Science*, 95(10), 2314-2321. <https://doi.org/10.3382/ps.pew098>
- Yannakopoulos, A. L., Tserveni-Gousi, A. S., & Christaki, E. (1998). Effect of natural zeolite on yolk: Albumen ratio in hen eggs. *British Poultry Science*, 39(4), 506-510. <https://doi.org/10.1080/00071669888683>

- Yonny, M. E., García, E. M., López, A., Arroquy, J. I., & Nazareno, M. A. (2016). Measurement of malondialdehyde as oxidative stress biomarker in goat plasma by HPLC-DAD. *Microchemical Journal*, 129, 281-285.
<https://doi.org/10.1016/j.microc.2016.07.010>
- Yugsan, N. (2015). *Efecto del uso de Thymus vulgaris (Tomillo), en aves lohmannbrow en la segunda etapa de producción* [Trabajo final de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio Académico de la producción intelectual de la Comunidad Politécnica.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3931/1/17T1266.pdf>
- Zalapa, A. (s.f.). *Correlación gráfica entre el peso del huevo, la altura de la clara y las unidades Haugh*. <https://www.researchgate.net/profile/Alejandro-Zalapa-Rios/publication/290523405>
- Zhu, Y., Cox, R., Johnston, L. J., Reese, C., Forcella, F., Gesch, R. W., & Li, Y. Z. (2021). Effects of increasing inclusion of camelina press cake in diets fed to growing-finishing pigs on pork quality. *Applied Animal Science*, 37(4), 357-366.
<https://doi.org/10.15232/aas.2021-02161>