

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA AGRONÒMICA
I DEL MEDI NATURAL



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Agronòmica i del Medi Natural

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 FIN DE GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y DEL MEDIO RURAL

Autora:

María Isabel Suay Costa

Directora experimental:

Alba Cerisuelo García

Tutora académica:

María Cambra López

Curso académico: 2019-2020

Valencia, noviembre de 2019

Título: 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.

RESUMEN:

La torta de camelina es un subproducto proveniente del cultivo y extracción del aceite de la semilla de *Camelina sativa*, que se presenta como una potencial alternativa proteica y energética para alimentar a las aves. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la inclusión de niveles crecientes de torta de *Camelina sativa* (0, 5, 10 y 15%) en sustitución de harina de soja y de la adición de enzimas en piensos de gallinas ponedoras, sobre el rendimiento productivo y la calidad del huevo. Un total de 384 gallinas de la raza Lohmann Brown-Classic de 39 semanas de vida se organizaron en 96 jaulas con 4 animales cada una que se repartieron, de manera homogénea, en un total de 8 tratamientos (12 jaulas por tratamiento). Los tratamientos consistieron en un pienso control (C) a base de maíz y soja, tres piensos con 5, 10 y 15% de inclusión de torta de camelina y tres piensos idénticos a estos suplementados con un complejo multienzimático compuesto de xilanasas, beta-glucanasas, amilasas y una proteasa. Se determinó la composición en nutrientes y ácidos grasos (AG) de la torta de camelina y piensos, polisacáridos no amiláceos y factores antinutricionales de la torta de camelina y actividad enzimática de los piensos. Durante la fase experimental, que duró 12 semanas, las gallinas se pesaron por jaula cada 28 días, aproximadamente, y el consumo de pienso se controló periódicamente. Además, se registró la producción de huevos diaria y su peso para el cálculo (por jaula) del porcentaje de puesta, peso promedio del huevo, masa del huevo e índice de transformación (IT). A nivel de calidad de huevo se determinó la altura del albumen denso del huevo, color de la yema y espesor de cáscara, así como la proporción de cada una de las partes con respecto al peso total del huevo y el porcentaje total de AG de la yema. La torta de camelina analizada destacó por presentar un 38,5 % de proteína bruta, 10,6% de extracto etéreo, 32,4% de fibra neutro detergente, 3,6% de ácido erúxico y 27,9% de ácido linolénico (AG omega-3). El consumo (g pienso/día) fue significativamente menor en gallinas alimentadas con los tratamientos 15T y 15T+E durante los primeros 29 días en comparación con el tratamiento C (104,7 y 106 vs. 115,2, respectivamente), pero se igualó posteriormente entre tratamientos. En general, los parámetros productivos fueron inferiores ($P < 0,05$) para los tratamientos 15T y 15T+E en comparación con los huevos C. La inclusión de enzimas mejoró numéricamente el IT en los tratamientos 5T y 10T en el último tercio del estudio. Con respecto a la calidad, a partir de un 10% de inclusión, se redujo el espesor y proporción de cáscara y la intensidad del color de la yema, con respecto a los huevos del tratamiento C. Paralelamente, se observó un incremento de AG omega-3 en la yema de los huevos con el aumento de la inclusión de torta. En conclusión, la inclusión de hasta un 10% de torta de camelina en sustitución de harina de soja en pienso de ponedoras no afecta a la producción. A niveles de inclusión del 5 y 10%, un complejo enzimático a base de carbohidrasas y proteasas puede mejorar el IT. Por otro lado, la inclusión a partir del 10% provoca un incremento en el porcentaje de AG poliinsaturados, aunque podría perjudicar la calidad de la cáscara si el contenido en minerales digestibles del pienso no es óptimo.

Palabras clave: gallina ponedora, torta de camelina, rendimientos productivos, calidad del huevo.

Autora: María Isabel Suay Costa

Directora experimental: Alba Cerisuelo García

Tutora académica: María Cambra López

Valencia, noviembre de 2019

Title: Productive efficiency and evaluation of egg quality in laying hens fed *Camelina sativa* cake with or without the addition of exogenous enzymes.

ABSTRACT:

Camelina cake is a by-product from the crop and extraction of *Camelina sativa* oil, which is a potential source of protein and energy in poultry feeds. The objective of this work was to evaluate the effect of including increasing levels of camelina cake (0, 5, 10 y 15%) and the addition of enzymes in laying hens' feed on productive performance and egg quality. A total of 384 39-week-old Lohmann Brown-Classic hens were organized in 96 cages with 4 animals each that were distributed, in a homogeneous way, in a total of 8 treatments (12 cages per treatment). The treatments consisted of a control feed (C), based on corn and soybean meal, three treatments with 5, 10 and 15% inclusion of camelina cake and three identical treatments to these but supplemented with a multienzymatic complex based on xylanases, beta-glucanases, amylases and a protease. The composition in nutrients and fatty acids (FA) were determined in camelina cake and feeds, non-starch polysaccharides and antinutritional factors in camelina cake and enzyme activity in feeds. During the experimental phase, which lasted 12 weeks, hens were weighed every 28 days approximately (per cage) and consumption was registered periodically. Moreover, hen-day egg production and weight were recorded for the calculation (per cage) of the laying percentage, egg weight, egg mass and feed conversion ratio (FCR). Regarding egg quality, albumen height, yolk color and shell thickness, as well as the proportion of each parts in respect to the total and the percentage FA in yolk were analyzed. The camelina cake used in this study had 38,5% crude protein, 10,6% ether extract, 32,4% neutral detergent fibre, an erucic acid content of 3,6% and 27,9% linolenic acid (omega-3 fatty acid). Feed consumption (g feed/day) was significantly lower in hens fed with treatments 15T and 15T+E during the first 29 days compared to treatment C (104,7 and 106 vs. 115,2), however, the differences disappeared thereafter. In general, egg production performance was lower ($P < 0,05$) for the treatments 15T and 15T+E compared to C eggs during the last third of the study. Enzyme inclusion improved numerically FCR in the 5T and 10T treatments. With regard to egg quality, the thickness and proportion of shell and the intensity of the yolk color were reduced from a 10% inclusion with respect to the C treatment. In parallel, an increase in omega-3 AG was observed in the yolk with increasing camelina cake in feeds. In conclusion, the inclusion of up to 10% of camelina cake replacing soybean meal in layers feed does not affect production. At 5 and 10% inclusion levels, an enzyme complex based on carbohydrases and proteases can improve FCR. On the other hand, the inclusion of up to 10% of camelina cake in feeds resulted in an increasing proportion of polyunsaturated FA, although it could impair the quality of the shell if the digestible mineral content of the feed is not optimal.

Key words: laying hens, camelina cake, productive performance, egg quality.

Author: María Isabel Suay Costa

Experimental director: Alba Cerisuelo García

Academic director: María Cambra López

Valencia, November of 2019

A mis padres, Toni e Isabel, quienes me enseñaron desde pequeña que, a base de esfuerzo, constancia y sacrificio, todo es posible.

A Miguel Ángel, por tu comprensión y apoyo desde que empezamos esta etapa juntos hace 5 años.

ÍNDICE

<i>I. INTRODUCCIÓN</i>	1
I.1. EL SECTOR AVÍCOLA DE PUESTA: IMPORTANCIA Y SITUACIÓN ACTUAL	1
I.2. FUENTES ALTERNATIVAS DE PROTEÍNA PARA UNA ALIMENTACIÓN ANIMAL SOSTENIBLE	2
I.3. CAMELINA SATIVA Y SUS SUBPRODUCTOS COMO FUENTES DE PROTEÍNA: VENTAJAS Y LIMITACIONES	3
<i>II. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS</i>	9
<i>III. MATERIALES Y MÉTODOS</i>	10
III.1. ANIMALES Y ALOJAMIENTO	10
III.2. DISEÑO EXPERIMENTAL	11
III.3. MEDIDAS REALIZADAS	19
III.3.1. Rendimiento productivo	19
III.3.2. Calidad interna del huevo	19
III.4. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS DE MATERIAS PRIMAS Y PIENSO	21
III.5. CÁLCULOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO	23
<i>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	24
IV.1. COMPOSICIÓN DE LA TORTA DE CAMELINA	24
IV.2. RENDIMIENTOS PRODUCTIVOS	25
IV.3. CALIDAD DEL HUEVO	32
<i>V. CONCLUSIONES</i>	39
<i>VI. BIBLIOGRAFÍA</i>	40

Índice de tablas

<i>Tabla I. Composición (% sobre materia seca, MS) en nutrientes, polisacáridos no amiláceos (PNA) y factores antinutricionales (FAN) de la torta de camelina empleada en la fabricación de los piensos experimentales.</i>	13
<i>Tabla II. Composición (% sobre materia seca, MS) en aminoácidos (AA) totales de la torta de camelina empleada en la fabricación de los piensos experimentales.</i>	14
<i>Tabla III. Perfil lipídico (% del total de ácidos grasos, AG, sobre materia fresca, MF) y cantidad total de AG (mg/100 g de muestra) de la torta de camelina empleada en la fabricación de los piensos experimentales.</i>	15
<i>Tabla IV. Ingredientes (% sobre materia fresca, MF) de los piensos experimentales.</i>	16
<i>Tabla V. Nutrientes (% sobre materia seca, MS) calculados y analizados y actividad enzimática (U/kg) de los piensos experimentales.</i>	17
<i>Tabla VI. Perfil lipídico (% del total de ácidos grasos, AG, % sobre materia fresca, MF) y cantidad total de AG (mg/100 mg de muestra) de los piensos experimentales.</i>	18
<i>Tabla VII. Efecto de la inclusión de torta de camelina en los piensos experimentales sobre el rendimiento productivo de las gallinas ponedoras durante el periodo experimental (12 semanas).</i>	28
<i>Tabla VIII. Evolución del efecto de la inclusión de torta de camelina en los piensos experimentales sobre el rendimiento productivo de las gallinas ponedoras por periodos (0-29 días, 29-56 días y 56-85 días).</i>	30
<i>Tabla IX. Efecto de la inclusión de torta de camelina en los piensos experimentales de las gallinas ponedoras sobre características y parámetros de calidad del huevo.</i>	35
<i>Tabla X. Efecto de la inclusión de torta de camelina en los piensos experimentales de las gallinas ponedoras sobre el perfil lipídico (% del total de ácidos grasos, AG) de las yemas de huevo y cantidad total de AG (mg/100 mg muestra).</i>	37

Índice de figuras

<i>Figura I. Detalle en boceto de la planta Camelina sativa (1) y cultivo en floración (2).</i>	4
<i>Figura II. Torta de camelina.</i>	5
<i>Figura III. Alojamiento de las gallinas durante la prueba</i>	10
<i>Figura IV. Distribución de los tratamientos en cada batería de jaulas.</i>	11
<i>Figura V. Control del peso de las gallinas por jaula.</i>	19
<i>Figura VI. Medición de la altura del albumen denso del huevo.</i>	20
<i>Figura VII. Abanico colorimétrico Roche (1) y medición del color de la yema del huevo (2).</i>	20
<i>Figura VIII. Medición del espesor de la cáscara del huevo.</i>	21
<i>Figura IX. Evolución del consumo medio diario de pienso (g/día) por tratamiento durante el periodo experimental.</i>	27

I. INTRODUCCIÓN

I.1. EL SECTOR AVÍCOLA DE PUESTA: IMPORTANCIA Y SITUACIÓN ACTUAL

El huevo es un producto habitual en cualquier tipo de dieta. Su calidad nutricional es elevada y su consumo es esencial para la alimentación de una población mundial en crecimiento, siendo la fuente más económica de proteína animal. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2015), un huevo de gallina (63 g aproximadamente) aporta una parte importante de las necesidades diarias (porcentajes de cantidades diarias recomendadas) de un adulto en selenio (27%), vitamina B12 (25%), colina (23%), riboflavina (15%), proteínas (13%), fósforo (11%), vitamina D (9%), ácido fólico (9%), vitamina A (8%), hierro (6%), energía (4%), vitamina B6 (4%), zinc (4%) y vitamina E (2%). Además, el huevo como alimento aporta una cantidad de kilocalorías moderada (84 kcal/unidad de tamaño medio) y un perfil lipídico en el que predominan los ácidos grasos insaturados (AGI), de entre los que destacan los omega-3 y omega-6 como el ácido linoleico por su carácter esencial y porque protegen de las enfermedades cardiovasculares (Carbajal, 2006).

Según datos facilitados por la FAO, en el año 2016 la producción mundial de huevo se situaba alrededor de los 70 millones de toneladas y es que, en las tres últimas décadas, la producción mundial de huevos ha aumentado en más del 150 por ciento. Gran parte de este crecimiento se ha registrado en Asia, donde China es, con creces, el país que más huevos produce a nivel global seguido de los Estados Unidos (EEUU) y la India (FAO, 2019).

En la Unión Europea (UE), la producción total de huevos en el año 2018 fue de 7,6 millones de toneladas, encabezando la lista Francia, seguido de Alemania. Actualmente, España ocupa la 3ª posición en Europa, según el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) (2019). Con una producción estimada de 1.089 millones de docenas de huevos al año, el sector avícola de puesta representa el 2,35 % de la Producción Final Agraria y el 6,52% de la Producción Final Ganadera en España (MAPA, 2019).

En lo que respecta a las comunidades autónomas españolas, destacan Castilla-La Mancha y Castilla y León como principales regiones productoras del país, con un 27,1% y un 17,9% de censo de ponedoras en el año 2017. Les siguen Aragón, Comunidad Valenciana y Cataluña (MAPA, 2019).

Se prevé que, en los próximos veinte años, la producción mundial alcanzará el hito de los 100 millones de toneladas anuales, en respuesta al incremento de la demanda de alimentos a nivel mundial (WattAgNet, 2015). Las cifras de producción de huevos incluyen huevos de diferentes especies, aunque el más producido con diferencia es el huevo de gallina (*Gallus gallus* o *Gallus domesticus*) (FEN, 2013). Para poder abastecer tal demanda, resulta de vital importancia seguir por el camino de la mejora de los aspectos clave que garanticen el futuro del sector, como son: los sistemas de producción, alojamientos, genética, sanidad, manejo y alimentación animal, con el fin de poder producir una mayor cantidad de huevos por gallina alojada con el menor coste

económico y ambiental posible, sin descuidar la calidad del producto y el bienestar de los animales. En este sentido cada vez son más los consumidores que se posicionan a favor de alimentos cuya producción sea respetuosa con el medio ambiente, y en el caso de los productos de origen animal, lo sea también en materia de bienestar animal. En esta línea, el manejo de la alimentación de las gallinas ponedoras es un pilar fundamental para mejorar la rentabilidad sin que se vea comprometida la sostenibilidad de un sector, como es el avícola de puesta, que está en continuo crecimiento.

I.2. FUENTES ALTERNATIVAS DE PROTEÍNA PARA UNA ALIMENTACIÓN ANIMAL SOSTENIBLE

Uno de los desafíos a los que se enfrenta la producción de huevos en el futuro es el manejo de la nutrición en gallinas ponedoras, pues supone el principal coste de producción en las explotaciones y juega un papel importante en la sostenibilidad ambiental del sector. Tradicionalmente, las materias primas vegetales a partir de las cuales están fabricados los piensos compuestos de las especies monogástricas, como las aves, son los **cereales** (maíz, trigo, cebada o sorgo) y las **oleaginosas** (soja, girasol, lino o colza). Las primeras constituyen una fuente importante de energía, son muy digestibles, palatables y presentan una reducida concentración de factores antinutricionales (FAN); mientras que, del segundo grupo, hay que destacar el papel de la **soja** como ingrediente por su alto contenido en proteína de elevada calidad para monogástricos; concretamente la harina de soja como producto derivado de ésta. Según la FAO (2019), el sector ganadero mundial consume al año 6.000 millones de toneladas de alimentos entre forrajes y piensos concentrados, incluyendo un tercio de la producción mundial de cereales. Las especies monogástricas como el porcino o las aves representan un 72% del consumo mundial de cereales de dicho sector. Por otro lado, la demanda de fuentes proteicas vegetales en la Unión Europea en 2016/2017 fue de 27 millones de toneladas de proteína, siendo el mercado de la alimentación animal el principal demandante (93%) y las oleaginosas las fuentes más demandadas. El mercado de aves y porcino representó aproximadamente 2/3 de esta demanda (Comisión Europea, 2018).

Así pues, la producción animal intensiva actual requiere un gran volumen de producción de estas materias primas, lo que tiene consecuencias negativas para el medio ambiente y la sostenibilidad de la producción animal intensiva.

Por un lado, con el aumento de la producción de estas especies, la necesidad de superficie para el cultivo de cereales y oleaginosas aumenta, y el cambio en el uso del suelo de bosques y selvas de regiones repartidas por todo el mundo, por tierras de cultivo, es cada vez más notorio. Esta expansión se produce de manera drástica afectando los hábitats naturales de numerosas especies, lo que conlleva una verdadera pérdida de biodiversidad, además de la generación de una fuente neta de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) según Masera *et al.* (1997). En condiciones normales, los ecosistemas forestales pueden absorber cantidades significativas de dióxido de carbono (CO₂), pero si desaparecen éstos importantes sumideros, las emisiones netas de estos gases aumentan (De Jong *et al.*, 2004). Actualmente, la pérdida de recursos forestales por deforestación es alarmante, especialmente en países como Argentina o Brasil debido al cultivo de la soja que ya ocupa una superficie más grande que cualquier otro cultivo

en Brasil, con el 21% del total de la tierra cultivada (Altieri *et Pengue*, 2006). Adicionalmente, en el caso concreto de la soja, la producción en Europa es muy baja (5% de autosuficiencia; Comisión Europea, 2018) y la industria de piensos española, al igual que la del resto de la UE, importa prácticamente la totalidad de la soja empleada en piensos. Éste hecho incrementa el impacto ambiental de los mismos y crea una fuerte dependencia de países terceros en cuanto a disponibilidad de soja y volatilidad de sus precios (Comisión Europea, 2018). Constituyendo la proteína uno de los componentes de más elevado coste en las raciones para las aves, y siendo la harina de soja la fuente principal de la misma en todo el mundo, cualquier actuación que reduzca la dependencia de la misma tendrá efectos muy positivos sobre la economía y el medio ambiente en el contexto europeo (Shi *et al.*, 2012). Además, es importante tener en cuenta que los cereales y las oleaginosas empleadas habitualmente en piensos compiten con la alimentación humana por lo que, ante una escasez de recursos, su disponibilidad para alimentación animal será cada vez menor (Wilkinson, 2011).

Éstas son algunas de las razones que motivan un cambio de dirección en cuanto a alimentación de ponedoras, con el fin de optimizar la producción y reducir la huella ambiental de la producción intensiva de huevos. El nivel de proteína bruta (PB) en piensos de ponedoras es moderado (15,8-17,0%; FEDNA, 2019) y es cubierto, en gran parte por harina de soja. Otras fuentes proteicas también utilizadas en piensos de ponedoras son la harina y torta de girasol, harina y torta de lino, harina de algodón y la harina y torta de colza, entre otras, (FEDNA, 2019) pero estas se incorporan en menor proporción que la soja. En los últimos años se ha intensificado la búsqueda en Europa de **nuevas fuentes proteicas** para su empleo en nutrición de aves cuya producción sea más respetuosa desde el punto de vista medioambiental, sin olvidar la sostenibilidad social y económica.

En la actualidad, además de las harinas y tortas provenientes de las oleaginosas convencionales (girasol, colza y soja) y las propias leguminosas, en Europa se promueve el cultivo de alternativas proteicas oleaginosas como *Camelina sativa* cuyos subproductos poseen una cantidad elevada de proteína y puede cultivarse sin muchas exigencias agronómicas (Pilgeram *et al.*, 2007). Las características de este cultivo y sus aplicaciones en nutrición animal se definen más adelante. Además de estos nuevos cultivos, otras posibles fuentes alternativas de proteína en alimentación de aves son los subproductos agroindustriales procedentes de la industria de la fermentación como los granos secos de destilería de cereales (industria del bioetanol) y otras que destacan por la buena calidad biológica de su proteína, como la harina de insectos, las microalgas y las fuentes de proteína de origen microbiano (El-Deek *et Brikaa*, 2009; Józefiak *et al.*, 2016).

I.3. CAMELINA SATIVA Y SUS SUBPRODUCTOS COMO FUENTES DE PROTEÍNA: VENTAJAS Y LIMITACIONES

Camelina sativa L. Crantz (Figura 1) es un cultivo oleaginoso perteneciente a la familia *Brassicaceae* (Cherian *et al.*, 2009) originario del nordeste de Europa y del centro de Asia (Kakani *et al.*, 2012). Ya en la Edad de Bronce (1500-400 a.C.) el cultivo era conocido e incluso formaba parte de la dieta humana (Zubr, 1997). También se cultivaba por su aceite, utilizado para la elaboración de jabón y como remedio medicinal. En Europa y Rusia fue económicamente muy

importante hasta pasada la Segunda Guerra Mundial, cuando fue sustituido por otros cultivos más productivos (Zubr, 1997). En los últimos años, su cultivo está recobrando interés por el aceite obtenido de esta planta, que posee un alto contenido en **ácidos grasos (AG) esenciales omega-3 (linolénico) y omega-6 (linoleico)** (Ehrensing *et al.*, 2008) y su elevado contenido en antioxidantes naturales (vitamina E, flavonoides, tocoferoles, esteroides y polifenoles), muy similar al aceite de lino. Este aceite se usa principalmente en cosmética, alimentación humana y para la producción de biodiésel para aviación de origen renovable (FEDNA, 2019). Otra característica que hace destacable el cultivo de *Camelina sativa* es que está adaptado a climas secos y fríos, es resistente a las heladas y vegeta adecuadamente en suelos poco fértiles y áridos (Pilgeram *et al.*, 2007) y pluviometrías inferiores a los 500 mm (Berti *et al.*, 2011; Carmo-Silva *et al.*, 2012). Cultivos como el maíz y girasol presentan unas necesidades hídricas mayores, de 571 mm y 488 mm respectivamente (Faci *et al.*, 1990). En el caso de la soja, estas varían entre 480 y 800 mm durante todo su ciclo de producción dependiendo de las condiciones climáticas, manejo y duración del cultivo (Silveira *et al.*, 1998).

Aunque en España se trate de un cultivo emergente, se prevé un crecimiento en el futuro, tanto en España como en el resto de países europeos, promovido por su perfecta adecuación a estrategias de agricultura sostenible, su baja competencia con la alimentación humana, así como por la posibilidad de la inclusión de sus subproductos (torta y harina) como fuente proteica en piensos para especies ganaderas como la gallina ponedora.

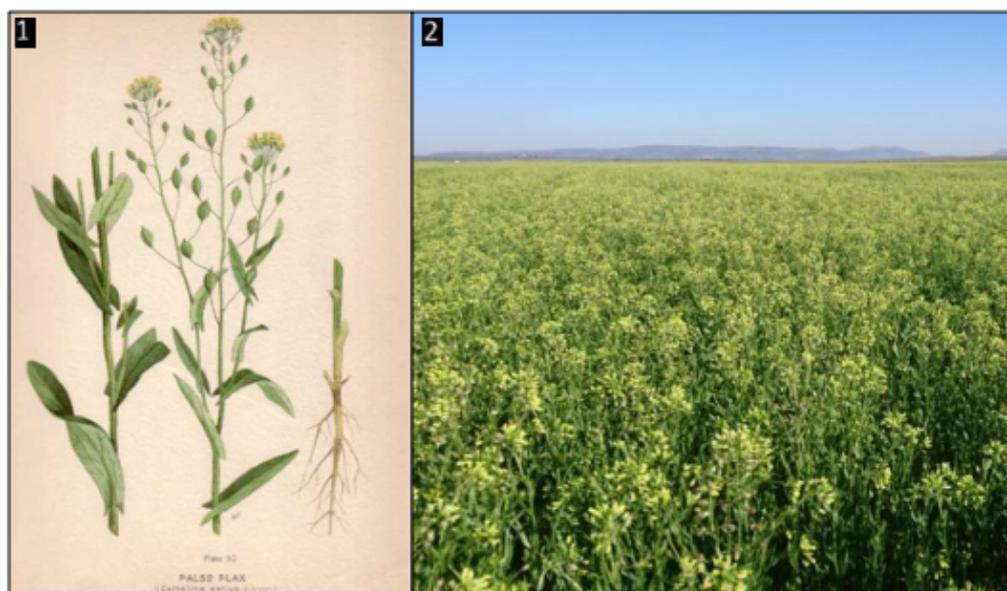


Figura 1. Detalle en boceto de la planta *Camelina sativa* (1) y cultivo en floración (2). Fuentes: Criddle, 1909 (1) y Camelina Company España (2).

Las semillas de camelina, de tamaño reducido y de color dorado, poseen un contenido medio en aceite de un 39%, de acuerdo con diversos trabajos revisados (Przbylski, 2005; Frame *et al.*, 2007; Peng *et al.*, 2014). Habitualmente, este aceite es extraído por industrias especializadas. Cuando el aceite se extrae mediante prensado, se obtiene un subproducto altamente proteico llamado torta (Figura 2). Habitualmente, los niveles de proteína en la torta de camelina superan el 30% (Cherian *et al.*, 2009; Pekel *et al.*, 2015; Woyengo *et al.*, 2016; FEDNA, 2019). También

cabe destacar el moderado-alto contenido en aminoácidos (AA) digestibles, entre ellos lisina y metionina, que son los principales AA limitantes en aves, con un perfil muy similar a la torta de colza (Peñagaricano, 2018). En lo que respecta a la grasa, los valores en la torta se sitúan alrededor del 10-13% (Cherian *et al.*, 2009; Pekel *et al.*, 2015; Woyengo *et al.*, 2016; FEDNA 2019). Esta grasa corresponde al aceite remanente de la extracción del aceite de la semilla, tratándose pues de una grasa en su mayoría insaturada (89%) y rica en AG esenciales como linolénico. Los beneficios de una dieta rica en AG omega-3 sobre la salud cardiovascular en humanos han sido ampliamente reconocidos (Karvonen *et al.*, 2002; Bowen *et al.*, 2016; Ochi *et Tsuchiya*, 2018;).



Figura II. Torta de camelina. Fuente: Dadelos Agrícola.

Por tanto, la torta de camelina puede ser una buena fuente de AA y energía para ser incorporada a las raciones de gallinas ponedoras, así como de AG omega-3 para el enriquecimiento del huevo (Nain *et al.*, 2015). Sin embargo, posee una serie de limitantes conocidos que podrían condicionar su uso en alimentación de aves.

El primero de ellos es su contenido en los denominados **factores antinutricionales** (FAN), los cuales han de ser tenidos en cuenta a la hora de su utilización en piensos. Como el resto de especies de la familia *Brassicaceae*, la *Camelina sativa* puede contener FAN tales como los glucosinolatos, que pueden afectar a la ingesta voluntaria de alimento (Pekel *et al.*, 2015) y a la digestibilidad de los nutrientes (Slominski, 2011). Estos no son tóxicos por sí mismos, pero la acción de la enzima mirosinasa, presente en el propio grano, o de enzimas de los microorganismos del aparato digestivo, da lugar a la formación de productos de hidrólisis (isotiocianatos (ITC), oxazolidintionina (VTO) y nitrilos), los cuales tienen un efecto antitiroideo y reducen el consumo. Los niveles máximos recomendados en piensos de ITC y VTO son 3 y 6 mg/g (FEDNA, 2019). Según Mushtaq *et al.* (2007), la ingesta voluntaria en aves puede verse afectada si se superan niveles de 2,5 $\mu\text{mol/g}$ de glucosinolatos. Algunos estudios en la bibliografía indican que, en general, su contenido en la camelina suele ser bajo (Lange *et al.*, 1995), y podría reducirse mediante programas de mejora genética (Russo *et Reggiani*, 2017). De cualquier manera, es conveniente analizarlos, ya que su concentración depende de la variedad de la planta, condiciones agronómicas y proceso extractivo (Russo *et al.*, 2014; Cano, 2018).

Otros FAN presentes en la torta son la sinapina, el ácido erúxico y los inhibidores de tripsina (Woyengo *et al.*, 2017; Cano, 2018). La sinapina es importante en las plantas para la biosíntesis de lignina y flavonoides. Sin embargo, posee una serie de propiedades indeseables como constituyente de ingredientes vegetales empleados en alimentación animal. Es responsable del

sabor y olor a pescado en huevos de estirpes rubias cuando la dieta contiene más de un 0,1% (Butler *et al.*, 1982). Por otro lado, el ácido erúxico tiende a causar cardiomiopatías en las aves por su deposición en el músculo cardíaco, resultando en una degeneración grasa y necrosis de las miofibras (Julian, 2002). Por último, los inhibidores de tripsina son sustancias que inhiben la acción de las proteasas, afectando a la digestibilidad de la proteína (AA) y de manera indirecta, a la utilización de la energía. Para lograr el desactivado de este FAN se recurre a la aplicación de tratamientos térmicos, dado que es termolábil (Azcona *et al.*, 2013).

Por otro lado, la torta de camelina, al igual que los coproductos de la colza (*Brassica napus*), presenta un notable contenido en **polisacáridos no amiláceos** (PNA) de la pared celular de la planta, los cuales limitan la digestibilidad de los nutrientes, y, en consecuencia, su absorción (Bedford, 1993; Slominski, 2011).

Generalmente se distingue entre PNA solubles e insolubles, según su efecto sobre el tracto gastrointestinal. Por un lado, los PNA insolubles (fibra insoluble) aceleran el tránsito intestinal reduciendo el tiempo de permanencia del alimento con las enzimas y jugos gástricos y la digestibilidad de los nutrientes (Choct, 1997). Por otro lado, los PNA solubles aumentan la viscosidad del contenido intestinal, lo que ralentiza la velocidad de paso del alimento de manera significativa (Choct *et al.*, 1996; Salih *et al.*, 1991). Sin embargo, esta lentitud en el tránsito intestinal no tiene consecuencias positivas sobre la digestibilidad de los nutrientes. En este sentido, Adeola *et al.* (2004) demostraron que un incremento en la viscosidad de la digesta intestinal está relacionada con una deficiencia en la utilización de los nutrientes y una tasa de crecimiento limitada de los animales. El aumento de la viscosidad dificulta la unión de los enzimas digestivos del ave con el sustrato, lo que dificulta la difusión de los nutrientes a partir de la pared intestinal (Brenes *et al.*, 1996). Estas alteraciones son provocadas principalmente por la acción de los PNA solubles como los arabinosilanos y beta-glucanos, por su elevada capacidad de absorción de agua. Por otro lado, está descrito que la fibra soluble puede disminuir el consumo de pienso ya que este tipo de fibra es capaz de mantener la absorción de nutrientes por periodos más largos de tiempo e incrementar la sensación de saciedad de los animales (Savón, 2002). A nivel de salud intestinal, sin embargo, la inclusión de fibra puede tener efectos positivos ya que es susceptible de potenciar la población microbiana beneficiosa del intestino, al mismo tiempo que previene la colonización por bacterias patógenas oportunistas (Apajalahti *et al.*, 2002). Este efecto prebiótico de los PNA es clave hoy en día teniendo en cuenta el escenario actual de reducción del uso de antibióticos.

Los limitantes anteriormente descritos pueden ser los responsables de que la inclusión de *Camelina sativa* en piensos a menudo no resulte en los resultados inicialmente esperables. En este sentido, en experimentos previos realizados con pollos de engorde, la inclusión de torta de camelina entre un 3 y un 15% redujo, de forma significativa la digestibilidad de la materia seca y de la energía (Acamovic *et al.*, 1999; Thacker *et al.*, 2012). El número de estudios realizados sobre digestibilidad de la camelina en gallinas son escasos. Aziza *et al.* (2013) reportaron en un ensayo que duró 90 días, que la inclusión de un 10% de torta de camelina en gallinas ponedoras de 24 semanas de edad redujo ($p < 0,05$) la digestibilidad de la proteína y de la energía metabolizable aparente (EMA). En un estudio realizado con gallinas Brown Leghorn (Cherian *et al.*, 2009) alimentadas con dietas que contenían 0, 5, 10 y 15% de torta de camelina

desde las 58 hasta las 70 semanas de vida, se observó que a un nivel de inclusión del 15% la producción de huevos diaria fue la más baja. La cantidad de pienso consumida fue menor a medida que aumentaba el porcentaje de inclusión de la camelina en la dieta. En este estudio se observaron también diferencias en cuanto a los efectos sobre la calidad y composición de ácidos grasos del huevo. En este sentido, el porcentaje yema/albumen fue menor en los huevos de los tratamientos 10 y 15% en comparación con los huevos control (0 %), y el total de AG omega-3 en los huevos control constituyó un 0,32%, frente al 2,54, 2,69 y 2,99% registrado en los huevos 5, 10 y 15%, respectivamente.

Por otro lado, Kakani *et al.* (2012) observaron en un estudio donde las gallinas fueron alimentadas con dietas que contenían 0, 5 y 10% de torta de camelina durante 12 semanas, que no había diferencias significativas entre los tratamientos en cuanto al porcentaje de puesta diario, consumo y peso de los animales al final de la prueba. Pero en lo que al contenido en AG omega-3 se refiere, sí se observó un incremento significativo en los huevos 5 y 10 % en comparación con los huevos 0%.

Ante las limitaciones de la incorporación de ingredientes y subproductos fibrosos en alimentación de aves, la suplementación en la dieta de complejos enzimáticos exógenos específicos supone una de las herramientas más adecuadas para mejorar tanto la digestibilidad de los nutrientes (Bedford, 1993) como la eficacia productiva de las aves (Perazzo Costa *et al.*, 2015), además de reducir costes de alimentación. Entre las enzimas exógenas disponibles para ser utilizadas en alimentación animal se encuentran las carbohidrasas, fitasas y proteasas. Las carbohidrasas como las xilanasas y beta-glucanasas causan una despolimerización parcial de la fracción soluble de los PNA, transformándolos en polímeros de menor elongación. Esto reduce su capacidad para formar una digesta viscosa (Choct, 1997), lo que tiene relación con la digestión de los nutrientes y una normalización de la consistencia de las heces de las aves. Es habitual la inclusión de este tipo de enzimas exógenas en piensos de aves para combatir la viscosidad de la digesta provocada por algunos cereales como trigo, cebada o centeno (Brenes *et al.*, 1996). Por otro lado, las fitasas son enzimas también comunes en piensos de aves y se utilizan para incrementar la digestibilidad del fósforo (P) en dietas con cereales, lo que permite incluir una menor cantidad de P inorgánico en los piensos (Acosta *et Cárdenas*, 2006). Por último, el uso de proteasas con la función de mejorar la digestibilidad de la proteína y AA (Barbosa *et al.*, 2008) está menos desarrollado y arraigado en el mercado. Sin embargo, estas enzimas empiezan a incluirse en complejos para mejorar la digestibilidad de fuentes proteicas fibrosas.

El uso de enzimas exógenas y combinaciones de ellas en dietas con subproductos fibrosos es cada vez más frecuente, aunque sus efectos son variables. En el caso concreto de los subproductos de camelina existen muy pocos estudios acerca del uso y efecto que provocan las enzimas exógenas en especies ganaderas monogástricas alimentadas con ellos. En un trabajo realizado por Woyengo *et al.* (2016) en el que se determinó el valor nutricional de la torta de camelina en dietas para pollos broiler con o sin la suplementación de enzimas, se observó que, con la adición de un complejo multienzima a base de celulasas, amilasas y pectinasas, entre otras, la digestibilidad de los AA fue mayor (coeficiente de digestibilidad ileal estandarizada) y se incrementó también el valor de EMA para la torta de camelina. En otro estudio más reciente de Woyengo *et al.* (2018), se vio que la adición de un complejo multienzima a la dieta de 0,5

g/kg no afectó significativamente a la digestibilidad de los nutrientes y la energía ni tampoco al valor de la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) de la camelina en porcino. Sin embargo, a una dosis mayor, de 50 g/kg, este complejo enzimático fue capaz de mejorar la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (MS) de la camelina. En este estudio, además, se reporta que algunos FAN como los inhibidores de tripsina pueden reducir la actividad de las proteasas y carbohidrasas, lo que conllevaría un requerimiento mayor de estas enzimas para la digestión óptima de los nutrientes. Por lo tanto, el efecto de las enzimas exógenas puede depender de la especie animal, dosis y, por supuesto, del sustrato (ingrediente) que se pretenda mejorar. Además, las enzimas pueden ejercer un efecto positivo en la digestión cuando la presencia de FAN es elevada. En este sentido, el perfil de PNA del pienso o ingrediente a mejorar condicionará la combinación de enzimas óptima para incrementar su degradación

En definitiva, el uso de subproductos fibrosos en alimentación animal es cada vez más elevado y entender bien el mecanismo de acción de las enzimas y las condiciones óptimas para maximizar su actividad en los piensos y para cada ingrediente concreto se considera esencial en la nutrición animal futura.

II. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

Son diversos los factores que motivan la realización del presente trabajo. En primer lugar, la importancia del huevo como un alimento proteico, cardiosaludable y económicamente asequible para buena parte de la población mundial. El sector avícola de puesta debe satisfacer la demanda creciente de este producto tanto hoy como en el futuro. Para ello, es fundamental apostar por iniciativas capaces de desarrollar producciones ganaderas sostenibles.

Actualmente, la fuente proteica principal en los piensos de aves es la harina de soja, cuya proteína tiene un elevado valor biológico. Su popularidad se ha acrecentado desde que se prohibiera el uso de harinas de carne y huesos en alimentación de las principales especies ganaderas. Sin embargo, la industria de piensos española, al igual que la del resto de la UE, importa prácticamente la totalidad de soja, que utiliza para la fabricación de los piensos de aves. Este hecho genera una fuerte dependencia de mercado con los países proveedores, lo que puede afectar negativamente al precio final del pienso, y a la sostenibilidad de la producción avícola.

En este marco, *Camelina sativa* (cultivo herbáceo que se produce en España y que destaca por su rusticidad y escasas necesidades de insumos) es una interesante alternativa proteica y energética para gallinas ponedoras y aves en general, pues se adecúa a las necesidades de éstas. Sin embargo, las recomendaciones actuales en gallinas ponedoras presentan niveles de inclusión bajos (<10%), probablemente por su elevado contenido en fibra y FAN. La adición de enzimas exógenas podría mejorar su uso por parte de los animales. Hasta la fecha no se han encontrado estudios con la utilización de enzimas exógenas en gallinas ponedoras alimentadas con torta de camelina.

En este contexto se enmarca este trabajo, cuyo **objetivo principal** fue **evaluar el efecto de la inclusión de niveles crecientes de torta de *Camelina sativa* (0, 5, 10 y 15%) y de la adición de un complejo multienzimático en piensos de gallinas ponedoras, sobre el rendimiento productivo y la calidad del huevo.**

Esta información contribuirá a determinar el nivel máximo de inclusión de este ingrediente en piensos de gallinas ponedoras que no afecte a la producción y el posible efecto adicional que la inclusión de un complejo multienzimático pueda tener. Estos datos son necesarios para analizar el grado de sustitución de harina de soja por este ingrediente en gallinas ponedoras.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en las instalaciones del Centro de Investigación y Tecnología Animal (CITA) perteneciente al Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA), localizado en el término municipal de Segorbe (Castellón). La fase de campo de la prueba tuvo lugar en la Unidad experimental de aves de puesta del CITA-IVIA, entre el día 20 de marzo de 2019 hasta el día 13 de junio de 2019. Por otro lado, previamente al ensayo, así como durante y posteriormente a la finalización del mismo, se han realizado una serie de análisis en diversas entidades, que se mencionan a lo largo de los puntos siguientes, y que constituyen en su conjunto la fase de laboratorio.

III.1. ANIMALES Y ALOJAMIENTO

Los procedimientos experimentales realizados en este estudio fueron aprobados por el comité de ética de la UPV con el número de registro 2016/VSC/PEA/00025. Para la prueba se utilizaron 384 gallinas ponedoras de la raza Lohmann Brown-Classic de 18 semanas de vida (a su llegada a las instalaciones del CITA el día 30 de octubre de 2018), procedentes de una granja de recría de pollitas de la empresa Huevos Guillén. Los animales se ubicaron en las salas 2 y 3 de la Unidad experimental de cebo-puesta del CITA desde el momento de su entrada a éste, alojándose en un total de 96 jaulas enriquecidas (48 jaulas/sala) de dimensiones 60 x 50 x 120 cm. En cada sala, las jaulas están organizadas en 4 baterías de 3 alturas cada una (Figura III). Cada jaula está equipada con un comedero individualizado, bebederos de tetina, un nidal, un aseladero y un limador de uñas, según lo dispuesto en el Real Decreto 3/2002 referente a las necesidades de enriquecimiento ambiental.



Figura III. Alojamiento de las gallinas durante la prueba. Fuente: Elaboración propia.

El sistema de recogida de huevos fue individualizado (por jaula) y se llevó a cabo manualmente. Además, cabe decir que las salas disponen de un sistema de control ambiental basado en temperatura (sistema Copilot[®]) y que, ésta se mantuvo en torno a los 20°C durante toda la prueba. Los animales estuvieron sometidos a un régimen de luz:oscuridad creciente, ya que pasaron de 12 horas de luz a su llegada, a 14 (6:00h-20:00h) horas de luz al día desde la semana 21 de vida hasta el fin de la prueba (51 semanas de vida).

III.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

A su llegada a la explotación con 18 semanas de vida, las aves se distribuyeron aleatoriamente en las 96 jaulas a razón de 4 animales/jaula y se pesaron en grupo. Desde este instante, y hasta alcanzar las 39 semanas de vida, los animales se alimentaron con un pienso comercial (Camperbroiler puesta, Nanta), formulado a base de maíz, harina de soja y trigo y con una composición media de 2750 kcal/kg de EMA y 18 % de PB. A las 39 semanas de vida, momento en el cual las gallinas ya han alcanzado su pico de puesta y la producción es estable se inició el ensayo. Los animales se pesaron por jaula y se asignaron a 8 tratamientos experimentales diferentes (12 jaulas por tratamiento; 6 jaulas/tratamiento y sala), de forma que los grupos fuesen lo más homogéneos posible. Para la distribución se tuvo en cuenta la sala, posición (piso/altura) dentro de ésta, peso de la jaula y datos productivos (masa de huevo) durante los 10 días anteriores al inicio del ensayo. La Figura IV muestra la distribución de los tratamientos en cada batería de jaulas.

SALA 2

SALA 3

Batería 1

Jaula 15 T1	Jaula 14 T2	Jaula 13 T6	Jaula 12 T7	Jaula 11 T5
Jaula 10 T8	Jaula 9 T4	Jaula 8 T5	Jaula 7 T1	Jaula 6 T6
Jaula 5 T7	Jaula 4 T3			Jaula 1 T4

Batería 1

Jaula 75 T8	Jaula 74 T1	Jaula 73 T7	Jaula 72 T5	Jaula 71 T6
Jaula 70 T7	Jaula 69 T4	Jaula 68 T2		Jaula 66 T1
	Jaula 64 T6	Jaula 63 T4	Jaula 62 T2	Jaula 61 T3

Batería 2

Jaula 30 T5	Jaula 29 T4		Jaula 27 T8	
Jaula 25 T2		Jaula 23 T1	Jaula 22 T4	
Jaula 20 T2	Jaula 19 T7	Jaula 18 T8	Jaula 17 T6	Jaula 16 T3

Batería 2

	Jaula 89 T3	Jaula 88 T4	Jaula 87 T7	
Jaula 85 T5		Jaula 83 T7		Jaula 81 T6
Jaula 80 T1	Jaula 79 T6	Jaula 78 T8	Jaula 77 T3	Jaula 76 T2

Batería 3

Jaula 45 T3		Jaula 43 T8	Jaula 42 T1	Jaula 41 T2
	Jaula 39 T3	Jaula 38 T5		Jaula 36 T7
Jaula 35 T6	Jaula 34 T1	Jaula 33 T4	Jaula 32 T5	Jaula 31 T8

Batería 3

Jaula 105 T6		Jaula 103 T1	Jaula 102 T3	Jaula 101 T8
	Jaula 99 T1	Jaula 98 T4	Jaula 97 T5	
Jaula 95 T5	Jaula 94 T2	Jaula 93 T8		Jaula 91 T7

Batería 4

Jaula 60 T4	Jaula 59 T3	Jaula 58 T6		Jaula 56 T7
Jaula 55 T5	Jaula 54 T3	Jaula 53 T7	Jaula 52 T2	Jaula 51 T8
	Jaula 49 T2		Jaula 47 T6	Jaula 46 T1

Batería 4

Jaula 120 T2	Jaula 119 T8	Jaula 118 T1	Jaula 117 T5	Jaula 116 T4
Jaula 115 T6	Jaula 114 T5	Jaula 113 T3	Jaula 112 T2	Jaula 111 T8
Jaula 110 T3		Jaula 108 T7	Jaula 107 T4	

Figura IV. Distribución de los tratamientos en cada batería de jaulas. Fuente: *Elaboración propia.*

Los 8 tratamientos consistieron en 8 piensos experimentales que diferían en el porcentaje de inclusión de torta de camelina y en la adición o no de enzimas exógenas. Estos fueron:

- Tratamiento 1 (C): pienso control a base de maíz y soja.
- Tratamiento 2 (C+E): pienso control con enzimas exógenas añadidas.
- Tratamiento 3 (5T): pienso con 5% de torta de camelina.
- Tratamiento 4 (5T+E): pienso con 5% de torta de camelina con enzimas exógenas añadidas.
- Tratamiento 5 (10T): pienso con 10% de torta de camelina.
- Tratamiento 6 (10T+E): pienso con 10% de torta de camelina con enzimas exógenas añadidas.
- Tratamiento 7 (15T): pienso con 15% de torta de camelina.
- Tratamiento 8 (15T+E): pienso con 15% de torta de camelina con enzimas exógenas añadidas.

Los piensos de los tratamientos 2, 4, 6 y 8 fueron idénticos a sus homólogos 1, 3, 5 y 7, pero se suplementaron con un complejo multienzima. En concreto, el suplemento enzimático estaba compuesto por xilanasas, beta-glucanasas, amilasas y una proteasa aportando 3210 U de xilanasas, 228 U de betaglucanasa, 2400 U de proteasa; 240 U de amilasa. Los piensos experimentales se administraron durante 12 semanas seguidas. La torta de camelina empleada en los piensos provenía de la empresa Camelina Company España. Su composición en nutrientes, PNA y FAN se presenta en la Tabla I. En la Tabla II se muestra la composición referente a AA. Por último, la Tabla III refleja la composición en AG de la torta.

Tabla I. Composición (% sobre materia seca, MS) en nutrientes, polisacáridos no amiláceos (PNA) y factores antinutricionales (FAN) de la torta de camelina empleada en la fabricación de los piensos experimentales.

Nutrientes (%)	
Materia seca	92,0
Energía bruta (kcal/kg)	5014
EMAn (kcal/kg) ¹	2155
Proteína bruta	38,5
Grasa bruta	10,6
Fibra bruta	11,9
Fibra neutro detergente (FND)	32,4
Fibra ácido detergente	18,6
Lignina ácido detergente	4,58
Proteína bruta ligada a FND	14,7
Cenizas	5,95
Azúcares totales	6,30
Calcio	0,57
Fósforo	0,89
Fósforo fítico	0,36
Potasio	1,26
Magnesio	0,43
Sodio (mg/kg)	91,9
Cobre (mg/kg)	10,3
Hierro (mg/kg)	159
Manganeso (mg/kg)	40,2
Zinc (mg/kg)	68,9
Cloro	0,085
Colina (ppm)	<0,1
PNA (%)	
Solubles	5,89
Insolubles	16,6
Totales	22,4
FAN	
Taninos (ppm)	835
Ácido erúcico (%)	5,28
Glucosinolatos (µmol/g)	4,05
Inhibidores de tripsina (mg/g)	17,9

¹EMAn: Energía metabolizable aparente corregida por nitrógeno.

Tabla II. Composición (% sobre materia seca, MS) en aminoácidos (AA) totales de la torta de camelina empleada en la fabricación de los piensos experimentales.

Aminoácidos (%)	
Esenciales	
Arginina	2,76
Histidina	0,750
Isoleucina	1,29
Leucina	2,19
Lisina	1,63
Metionina	0,70
Fenilalanina	1,36
Treonina	1,32
Valina	1,84
Triptófano	0,43
Metionina+Cisteína	1,40
No esenciales	
Alanina	1,45
Ácido aspártico	2,83
Cisteína	0,70
Ácido glutámico	6,53
Glicina	1,75
Prolina	1,70
Serina	1,43
Tirosina	0,85

Tabla III. Perfil lipídico (% del total de ácidos grasos, AG, sobre materia fresca, MF) y cantidad total de AG (mg/100 g de muestra) de la torta de camelina empleada en la fabricación de los piensos experimentales.

Perfil lipídico (%)	
AG saturados	13,3
Ácido cáprico (C10:0)	0,01
Ácido láurico (C12:0)	0,01
Ácido tridecanoico (C13:0)	1,05
Ácido mirístico (C14:0)	0,09
Ácido pentadecanoico (C15:0)	0,04
Ácido palmítico (C16:0)	7,40
Ácido heptadecanoico (C17:0)	0,06
Ácido esteárico (C18:0)	2,49
Ácido araquídico (C20:0)	1,44
Ácido behénico (C22:0)	0,39
Ácido lignocérico (C24:0)	0,28
AG monoinsaturados	33,1
Ácido palmitoleico (C16:1)	0,14
Ácido cis-10-heptadecenoico (C17:1)	0,04
Ácido elaídico (C18:1n9t)	0,02
Ácido oleico (C18:1n9c)	15,1
Ácido vaccénico 18:1(n-7)	2,00
Ácido cis-11-eicosenoico (C20:1)	11,6
Ácido erúcico (C22:1n9)	3,59
Ácido nervónico (C24:1)	0,58
AG poliinsaturados	53,6
Ácido linoleico (C18:2n6c)	22,3
Ácido gamma-linoleico (C18:3n6)	0,17
Ácido linolénico (C18:3n3)	27,9
Ácido cis-11,14-eicosadienoico (C20:2)	1,73
Ácido cis-11,14,17-eicosatrienoico (C20:3n3)	1,00
Ácido cis-8,11,14-eicosatrienoico (C20:3n6)	0,06
Ácido araquidónico (C20:4n6)	0,07
Ácido cis-13,16-docosadienoico (C22:2)	0,28
Ácido cis-7,10,13,16-docosatetraenoico (22:4n-6)	0,07
Ácido cis-7,10,13,16,19-docosapentaenoico (22:5n-3)	0,01
AG totales, mg/100 mg muestra	9,60

Los piensos experimentales, fabricados en la empresa Nuri y Espadaler (Vic, Barcelona), se formularon, en base a las necesidades nutritivas que establece FEDNA (2019) para gallinas de más de 30 semanas de edad, para ser isoenergéticos e isoproteicos. Para ello se utilizaron los valores de PB y AA digestibles estandarizados obtenidos en un estudio anterior realizado con el mismo lote de torta (Peñagaricano, 2018), así como el valor estimado de energía metabolizable aparente corregida por nitrógeno (EMAn) según las ecuaciones para concentrados de proteína vegetal publicadas por FEDNA (2019).

Los piensos homólogos (sin y con enzimas) se fabricaron a partir de una única mezcla de piensos para asegurar que la diferencia entre ambos fuera únicamente la adición o no de enzimas. Los piensos se fabricaron en harina. En diferentes momentos del proceso de fabricación se recogieron 3 muestras por pienso de aproximadamente 600 g, con el fin de medir la actividad enzimática (actividad xilanasa y proteasa). También se obtuvo una muestra representativa del lote de fabricación de cada pienso para análisis químico. La composición en ingredientes de estos piensos se muestra en la Tabla IV. Su composición en nutrientes, así como la actividad enzimática registrada, se muestra en la Tabla V. Por último, se presenta el perfil lipídico analizado de los 8 piensos experimentales (Tabla VI). La forma de presentación de los piensos fue en harina, moliéndose los ingredientes de la mezcla a 3 mm. Durante todo el periodo experimental, el pienso fue ofrecido *ad libitum*. En cuanto al aporte de agua, también se le brindó a voluntad a los animales.

Tabla IV. Ingredientes (% sobre materia fresca, MF) de los piensos experimentales.

Ingredientes (%)	Tratamientos experimentales ¹							
	C	C+E	5T	5T+E	10T	10T+E	15T	15+E
Maíz nacional	51,0		51,0		51,0		51,0	
Harina soja 46%	25,3		21,9		18,5		15,0	
Trigo blando	4,00		4,00		4,00		4,00	
Torta de camelina	0		5,00		10,0		15,0	
Salvado y tercerillas de trigo	5,18		3,49		1,80		0,14	
Aceite de soja	3,00		3,00		3,00		3,00	
Carbonato cálcico	9,60		9,60		9,60		9,60	
DL metionina	0,20		0,20		0,20		0,20	
Colina 60	0,05		0,06		0,09		0,11	
L-lisina HCL	0		0,04		0,09		0,15	
L-treonina	0		0,02		0,05		0,07	
L-triptófano	0		0		0,01		0,01	
L-valina	0		0		0		0,03	
Fosfato monocálcico	1,00		1,00		1,00		1,00	
Cloruro sódico	0,40		0,40		0,40		0,40	
Corrector vit-mineral ²	0,30		0,30		0,30		0,30	

¹C: Tratamiento control, C+E: Tratamiento control con adición de enzimas exógenas, 5T: incluye un 5% de torta de camelina, 5T+E: incluye un 5% de torta de camelina más la adición de enzimas exógenas, 10T: incluye un 10% de torta de camelina, 10T+E: incluye un 10% de torta de camelina más la adición de enzimas exógenas, 15T: incluye un 15% de torta de camelina, 15T+E: incluye un 15% de torta de camelina más la adición de enzimas exógenas.

²Aporta por kg de pienso: vitamina A, 37,500 IU; vitamina D3, 3750 IU; vitamina E (α-tocoferol acetato), 53 IU; vitamina B1, 2 mg; riboflavina (vitamina B2), 5 mg; piridoxina (vitamina B6), 3 mg; vitamina B12, 150 µg; vitamina K, 6 mg; vitamina V5, 8 mg; ácido fólico, 0.5 mg; biotina, 0.1 mg; cloruro de colina, 425 mg; hierro, 78 mg; cobre, 6.3 mg; zinc, 600 mg; manganeso 100 mg; Yodo 0.75 mg; selenio, 0.38 mg.

Tabla V. Nutrientes (% sobre materia seca, MS) calculados y analizados y actividad enzimática (U/kg) de los piensos experimentales.

Nutrientes calculados (%)	Tratamientos experimentales ¹							
	C	C+E	5T	5T+E	10T	10T+E	15T	15+E
EMA aves (kcal/kg) ²	3020		3016		3011		3008	
Proteína bruta	18,8		18,7		18,7		18,7	
Grasa bruta	5,98		6,41		6,85		7,28	
Calcio	4,50		4,52		4,53		4,54	
Fósforo	0,66		0,67		0,70		0,67	
Fósforo digestible aves	0,36		0,36		0,36		0,36	
Lisina	0,85		0,84		0,84		0,84	
Metionina	0,49		0,49		0,49		0,49	
Metionina+Cisteína	0,74		0,74		0,74		0,74	
Treonina	0,59		0,59		0,59		0,59	
Triptófano	0,19		0,19		0,19		0,19	
Valina	0,77		0,75		0,73		0,73	
Nutrientes analizados (%)								
Materia seca	89,5		89,8		89,8		89,9	
Cenizas	15,1		15,2		14,6		14,6	
Energía Bruta (kcal/kg)	4012		4003		4055		4083	
Proteína Bruta	19,4		20,1		19,8		20,3	
Grasa bruta	7,35		7,12		7,14		7,17	
Fibra Neutro Detergente	12,4		12,2		11,6		12,8	
Fibra Ácido Detergente	3,00		3,10		3,17		3,26	
Lignina Ácido Detergente	0,10		0,08		0,10		0,11	
Actividad enzimática (U/kg)								
Xilanasa	253	4063	275	3596	231	3596	253	3315
Proteasa	-	1960	-	1534	-	1413	-	971

¹C: Tratamiento control, C+E: Tratamiento control con adición de enzimas exógenas, 5T: incluye un 5% de torta de camelina, 5T+E: incluye un 5% de torta de camelina más la adición de enzimas exógenas, 10T: incluye un 10% de torta de camelina, 10T+E: incluye un 10% de torta de camelina más la adición de enzimas exógenas, 15T: incluye un 15% de torta de camelina, 15T+E: incluye un 15% de torta de camelina más la adición de enzimas exógenas.

²EMA aves: Energía metabolizable aparente para aves.

Tabla VI. Perfil lipídico (% del total de ácidos grasos, AG, % sobre materia fresca, MF) y cantidad total de AG (mg/100 mg de muestra) de los piensos experimentales.

Perfil lipídico (%)	Tratamientos experimentales ¹							
	C	C+E	5T	5T+E	10T	10T+E	15T	15T+E
AG saturados	16,4	16,5	16,3	16,1	15,8	15,7	15,5	15,5
Ácido palmítico (C16:0)	12,7	12,7	12,3	12,2	11,8	11,9	11,4	11,4
Ácido heptadecanoico (C17:0)	0,094	0,096	0,107	0,092	0,087	0,103	0,097	0,099
Ácido esteárico (C18:0)	3,02	3,11	3,15	3,08	3,06	3,09	3,07	3,07
Ácido araquídico (C20:0)	0,208	0,232	0,322	0,293	0,367	0,378	0,452	0,493
Ácido behénico (C22:0)	0,227	0,251	0,286	0,256	0,262	0,257	0,274	0,279
Ácido lignocérico (C24:0)	0,132	0,154	0,179	0,128	0,157	0,017	0,178	0,164
AG monoinsaturados	23,1	23,3	24,2	24,2	25,1	25,1	25,8	25,8
Ácido palmitoleico (C16:1)	0,094	0,096	0,107	0,110	0,122	0,120	0,113	0,115
Ácido oleico (C18:1n9c)	20,5	20,7	20,4	20,2	20,1	20,2	20,0	19,9
Ácido vaccénico 18:1(n-7)	2,23	2,12	2,184	2,33	2,27	2,15	2,20	2,22
Ácido cis-11-eicosenoico(C20:1)	0,302	0,328	1,182	1,153	1,924	1,957	2,615	2,613
Ácido erúcido (C22:1n9)	0,057	0,058	0,322	0,311	0,560	0,566	0,759	0,772
Ácido nervónico (C24:1)	0	0	0,054	0,055	0,087	0,086	0,129	0,131
AG poliinsaturados	60,4	60,2	59,4	59,7	59,2	59,2	58,734	58,7
Ácido linoleico (C18:2n6c)	54,6	54,3	51,7	52,0	49,7	49,7	47,804	47,7
Ácido linolénico (C18:3n3)	5,76	5,73	7,43	7,41	8,92	8,99	10,27	10,26
Ácido cis-11,14-eicosadienoico (C20:2)	0,038	0,058	0,215	0,201	0,332	0,344	0,420	0,444
Ácido cis-11,14,17-eicosatrienoico (C20:3n3)	0,039	0,039	0,125	0,110	0,192	0,189	0,242	0,247
AG totales, mg/100 mg muestra	5,29	5,18	5,59	5,46	5,72	5,83	6,19	6,09

¹C: Tratamiento control, C+E: Tratamiento control con adición de enzimas exógenas, 5T: incluye un 5% de torta de camelina, 5T+E: incluye un 5% de torta de camelina más la adición de enzimas exógenas, 10T: incluye un 10% de torta de camelina, 10T+E: incluye un 10% de torta de camelina más la adición de enzimas exógenas, 15T: incluye un 15% de torta de camelina, 15T+E: incluye un 15% de torta de camelina más la adición de enzimas exógenas.

III.3. MEDIDAS REALIZADAS

En el presente sub-apartado se realiza una descripción de las medidas y registros obtenidos de los animales durante el periodo experimental.

III.3.1. Rendimiento productivo

Los animales se pesaron por jaula a su llegada a las instalaciones y 10 días antes del comienzo del estudio. Durante este periodo se controlaron el consumo y los parámetros de puesta. Durante la fase experimental, que tuvo una duración de 12 semanas, se registró el peso de las gallinas por jaula cada 28 días aproximadamente (Figura V) para calcular la ganancia media diaria (GMD). Además, el consumo de pienso se controló (mediante el peso de la oferta y el rechazo de éste) los días 7, 14, 29, 43, 56, 71 y 85 para calcular el consumo medio diario (CMD).



Figura V. Control del peso de las gallinas por jaula. Fuente: Elaboración propia.

Además, se llevó a cabo el control diario de la producción de huevos (recuento y peso por jaula) durante los 10 días anteriores al inicio de la prueba y también durante el transcurso de ésta, para calcular por jaula:

- **El porcentaje de puesta:** $\text{Número de huevos por gallina y día} \times 100$
- **El peso promedio del huevo:** $\text{Suma del peso de todos los huevos} / \text{N}^\circ \text{ de huevos totales}$
- **La masa del huevo:** $(\text{Porcentaje de puesta} \times \text{Peso del huevo}) / 100$
- **Índice de transformación (IT):** $\text{Consumo total de pienso} / \text{Masa de huevo}$

Los huevos fueron recogidos manualmente y por jaula, todos los días a las 8:50 horas de la mañana, siempre en el mismo orden de jaulas.

III.3.2. Calidad interna del huevo

Para determinar la calidad interna del huevo, cada 28 días, se recogían los huevos producidos en 24 horas (1 día para cada una de las salas en días consecutivos). El mismo día de la recogida se realizó la determinación de los diferentes parámetros de calidad, que fueron: el peso del huevo, la altura del albumen denso, el color de la yema y el espesor de la cáscara en todos los huevos. De entre todos los huevos producidos por jaula, se seleccionaron dos (de peso medio)

para la medición de la proporción yema/ albumen y el peso y proporción de la cáscara. La altura del albumen denso se midió utilizando un micrómetro digital con trípode, en la parte más alta del albumen (entre 7 y 8 mm de la yema, Figura VI). La medición se realizó en todos los casos por duplicado, y antes de haber transcurrido un minuto desde que el huevo fue cascado.

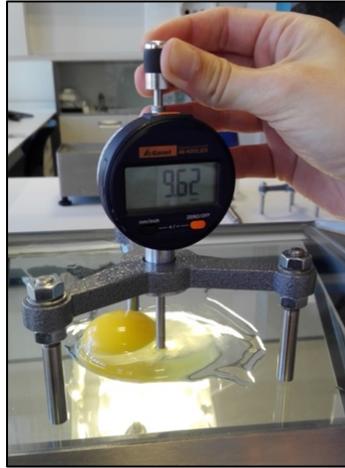


Figura VI. Medición de la altura del albumen denso del huevo. Fuente: Elaboración propia.

Esta medida se utilizó para calcular las unidades Haugh (Haugh, 1937). Las U.H. son el principal factor determinante de la calidad del albumen denso. La puntuación o valores pertenecientes a dichas unidades se calcularon de manera individual para cada huevo, utilizando los datos del espesor o altura de albumen denso y peso del huevo entero (Doyon *et al.*, 1986), y aplicando la siguiente expresión:

$$U. H. = 100 \cdot \log(H - 1,7 \cdot W^{0,37} + 7,6)$$

donde;

U.H. = Unidad Haugh

H = altura medida del albumen denso, en mm.

W = peso del huevo, en g.

El color de la yema se determinó mediante el abanico colorimétrico Roche, también conocido como DSM Yolk Color Fan (Figura VII).

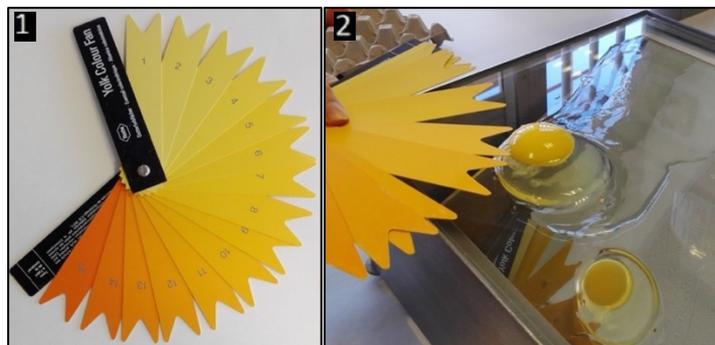


Figura VII. Abanico colorimétrico Roche (1) y medición del color de la yema del huevo (2). Fuente: Elaboración propia.

El espesor de cáscara se midió utilizando un micrómetro de precisión (Figura VIII). Este se midió por triplicado, en la parte del ecuador, realizándose la media de los 3 valores obtenidos.



Figura VIII. Medición del espesor de la cáscara del huevo. Fuente: Elaboración propia.

Para la medición de la proporción yema/albumen y cáscaras se procedió a separar manualmente la yema del albumen para pesarla. El peso del albumen se obtuvo por diferencia pesando las cáscaras secas, las yemas y el huevo entero (a los 7 días, Cherian *et al.*, 2009). El *pool* de dos yemas por jaula se congeló a -20°C hasta su posterior procesado. Transcurridos unos días se liofilizaron las yemas y se analizó su perfil de AG mediante cromatografía de gases, siguiendo el procedimiento descrito por O'Fallon *et al.* (2007).

III.4. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS DE MATERIAS PRIMAS Y PIENSO

La torta de camelina y los piensos se analizaron para materia seca (MS), cenizas (Cz), proteína bruta (PB), grasa bruta (GB), energía bruta (EB), fibras (FND, FAD y LAD), aminoácidos (AA) y perfil de AG. El perfil de AG se analizó también en la yema de huevo. Además, en la torta también se analizó la PB ligada a fibra, azúcares y minerales (Ca, P, P fítico, K, Mg, Na, Cu, Fe, Mn). La MS, Cz y GB se determinaron según los procedimientos descritos en AOAC (2019). Los azúcares totales fueron analizados según la metodología descrita en Yemm *et Willis* (1954). La concentración de fibra neutro detergente (FND), fibra ácido detergente (FAD) y lignina ácido detergente (LAD) fueron determinadas de manera secuencial utilizando el sistema Ankom (Ankom Technology Corp., Macedon, NY, USA) y las metodologías descritas por Mertens (2002), AOAC (2019) y Van Soest *et al.* (1991), utilizando amilasa (FAA, Ankom Technology Corp., Macedon, NY, USA). Los valores se expresan sin cenizas. La concentración de EB se midió en una bomba calorimétrica (Parr 6400, Parr Instruments Co., Moline, IL, USA) y el nitrógeno (N) total fue determinado mediante combustión utilizando un equipo Leco (modelo FP-528, Leco Corporation, St. Joseph, MI, USA). La concentración en PB se estimó como contenido en N x 6.25. La proporción de PB insoluble en FND fue determinada mediante el procedimiento descrito en Licitra *et al.* (1996). Estos análisis se realizaron en los laboratorios de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). El contenido en AA totales y azufrados se determinó mediante cromatografía de gases (Liu *et al.*, 1995) en los laboratorios de la Universitat Politècnica de València (UPV). En la separación de los AA se empleó un cromatógrafo líquido de alta resolución Waters (Milford, MA, USA) compuesto por dos bombas modelo 515, un muestreador automático modelo 717, un

detector de fluorescencia modelo 474 y un módulo de control de temperatura. Los AA se derivatizaron con AQC (6-aminoquinolil-N-hidroxisuccinimidil carbamato) y separados en una columna C-18 de fase inversa modelo AcQ Tag de Waters (150 mm x 3,9 mm). En la cuantificación de los aminoácidos se empleó tras la hidrólisis el ácido alfa-amino- butírico como patrón interno. La identificación se realizó por comparación de los tiempos de retención con los de un patrón H de aminoácidos de Pierce (Thermo Fisher Scientific Inc. IL, USA). La metionina y la cistina fueron determinados separadamente del resto de aminoácidos como metionina sulfona y ácido cisteico respectivamente, previa oxidación con ácido perbórmico y posterior hidrólisis con HCl 6N.

Los minerales se analizaron en el Centro de Calidad Avícola de la Comunitat Valenciana (CECAV) utilizando un equipo de espectroscopía de absorción atómica (ICP-OES). La cantidad de P-fítico se analizó mediante espectofotometría utilizando el método descrito en Haugh *et al.* (1983). Por otro lado, el perfil de AG se determinó mediante el procedimiento descrito por O'Fallon *et al.* (2007) en el cual se empleó tras la hidrólisis con KOH el ácido tridecanoico como patrón interno. El análisis se realizó mediante cromatografía de gases utilizando el hexano como sustancia de referencia en la UPV.

En la torta de camelina se determinó también el contenido en varios FAN, perfil de PNA, colina y cloruros. Los taninos, glucosinolatos (isotiocianato de alilo) y ácido erúxico, se analizaron mediante espectofotometría UV/VIS, destilación y valoración (BOE 2/03/95) y cromatografía de gases (UNE-EN ISO5508-1990), respectivamente. Los factores inhibidores de tripsina se analizaron siguiendo la metodología propuesta por AOCS (2017; Método oficial Ba 12-75). El perfil de PNA se determinó mediante cromatografía de gases de acuerdo con la metodología propuesta por Englyst *et al.* (1994). La colina se analizó mediante espectrofotometría. Para el análisis de los cloruros se aplicó una técnica potenciométrica, basada en AOAC 971.27. El análisis de los FAN, colina y cloruros se realizó en Labocor Analítica (Colmenar Viejo, Madrid), mientras que el perfil de PNA se determinó en los laboratorios Englyst Carbohydrates Ltd. (Southampton, UK). Todos los análisis fueron realizados por duplicado.

Utilizando las determinaciones correspondientes se estimó el contenido en energía metabolizable aparente corregida por N (EMAn). Para ello, se empleó la ecuación propuesta por FEDNA (2019) para concentrados de proteína vegetal:

$$EM \text{ (kcal/kg)} = PB \text{ (g/kg)} \cdot 5,65 \text{ (kcal EB/g)} \cdot 0,80^{(1)} \cdot dPB^{(2)} + EE \text{ (g/kg)} \cdot 9,4 \text{ (kcal EB/g)} \cdot 0,9^{(3)} + \text{almidón (g/kg)} \cdot 4,1 \text{ (kcal EB/g)}^{(4)} + AZ \text{ (g/kg)} \cdot 3,8 \text{ (kcal EB/g)} + FND \text{ (g/kg)} \cdot 4,2 \cdot 0,05^{(5)} + DIF \text{ (g/kg)} \cdot 4,2 \text{ (kcal EB/g)} \cdot 0,1^{(6)}$$

Donde;

- (1) Coeficiente para contabilizar pérdidas en orina.
- (2) Valores de digestibilidad de la PB asignados en tablas.
- (3) Digestibilidad media estimada del EE= 90%, excepto para haba de soja donde = 96%.
- (4) Se asume una digestibilidad del 100% para almidones y azúcares.
- (5) Digestibilidad media estimada para la FND.
- (6) Digestibilidad media estimada para el componente DIF.

En los piensos experimentales se midió, además, la actividad xilanasa y proteasa en los laboratorios de DuPont (Brabrand, Dinamarca).

III.5. CÁLCULOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Una vez finalizadas las pruebas, se realizó un filtrado y un análisis exploratorio de los datos, así como los análisis estadísticos pertinentes mediante el paquete estadístico SAS System Software® (Versión 9.4, SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA). La presencia de datos anómalos (outliers) se estudió mediante el análisis PROC UNIVARIATE de SAS. La jaula fue considerada la unidad experimental para las variables relacionadas con los rendimientos productivos (CMD, porcentaje de puesta, peso medio del huevo, masa del huevo e IT), mientras que, para las variables de calidad de huevo, éste fue la unidad experimental. Para estudiar las diferencias entre tratamientos para los rendimientos productivos y los parámetros de calidad se utilizó un análisis ANOVA de dos factores en el que se consideraron el nivel de inclusión de torta y la inclusión o no de enzimas como efectos principales y su interacción (PROC GLM de SAS). La sala se consideró efecto bloque. En este procedimiento las medias se separaron mediante un test Tukey. Además, para estudiar la evolución de los datos productivos y calidad con el tiempo se realizó un análisis de medidas repetidas mediante un procedimiento PROC MIXED, en que el modelo incluyó el tratamiento y el tiempo. Para algunos parámetros se testó, además, la posible existencia de una relación entre los niveles de torta de camelina mediante contrastes ortogonales (lineales y cuadráticos).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

IV.1. COMPOSICIÓN DE LA TORTA DE CAMELINA

La torta de camelina empleada en este trabajo se caracteriza por presentar una concentración elevada de PB (35,4% en base fresca, Tabla I), muy cercana al valor de 33,9% que recoge FEDNA (2019). Otros autores también obtuvieron resultados parecidos en cuanto a composición de PB: 37,2% (Cherian *et al.*, 2009), 33,1% (Almeida *et al.*, 2013) y 36,9% (Bülbül *et al.*, 2015). En comparación con otros concentrados de proteína vegetal, la torta de camelina presenta un menor porcentaje de PB con respecto a la harina de soja 44 (44% PB en base fresca) y algo superior al de la torta de presión de semilla de colza 7,3% EE, que presenta un 31,2% en base fresca (FEDNA, 2019). Su perfil de AA totales (1,5% lisina y 0,64% metionina en base fresca, Tabla II) ha resultado ser muy similar al descrito en FEDNA (2019) con valores de 1,57% para la lisina y 0,61% para la metionina. Comparado con otras fuentes, la torta de camelina muestra un contenido en lisina inferior al de la harina de soja 44, y similar o incluso superior en metionina (FEDNA, 2019). La torta de presión de semilla de colza 7,3% EE presenta valores para la lisina (5,7%) y metionina (2,02%) superiores al de la torta de camelina analizada en este estudio. La metionina es uno de los principales AA limitantes en relación al tamaño del huevo.

En cuanto al contenido en GB, la mayoría de estudios en la bibliografía describen niveles en base fresca entre 12-16% de GB en la torta (Cherian *et al.*, 2009; Almeida *et al.*, 2013; Kiarie *et al.*, 2016), ligeramente superiores a los encontrados en este estudio (9,75%). Aunque este contenido es muy variable, pudiendo llegar incluso a valores del 18% (FEDNA, 2019). La harina de soja o la de camelina no son tan ricas en grasa (3%), ya que en general, las harinas derivan de un proceso de extracción de aceite con solventes más eficiente que el prensado que da lugar a las tortas (FEDNA, 2019). El porcentaje de GB en base fresca en la torta de colza (7,3%), sin embargo, es menor que el de torta de camelina (FEDNA, 2019). La EMAN de la torta de camelina para aves obtenida en este estudio fue de 1982,6 kcal/kg MF, valor un poco inferior al que se describe en FEDNA (2019) para ponedoras (2350 kcal/kg) pero similar al valor obtenido por Kakani *et al.* (2012) en un estudio *in vivo* con gallinas.

En lo que respecta a la fibra, los valores obtenidos en este estudio para FND, FAD y LAD en la torta de camelina son similares a los descritos por FEDNA (2019). Al igual que la torta de colza, la de camelina tiene un contenido elevado de FND, aunque esta fibra es poco lignificada. La proporción de PB ligada a FND es relativamente reducida (13,52% en base fresca, Tabla I) y muy similar a la obtenida en un estudio llevado a cabo por Colombini *et al.* (2014), en el cual la proporción de PB ligada a FND de la torta de camelina fue de 13,2%. Además de las fracciones FND, FAD y LAD, en este estudio también se analizaron los PNA. Hasta la fecha no hay constancia de datos publicados sobre el perfil de PNA en los subproductos de camelina. En el presente estudio, el contenido de PNA fue de un 22,4%, de los cuales un 16,6% son insolubles y un 5,9%, solubles (Tabla I). Otras materias primas similares como la harina de colza presentan contenidos algo más reducidos de PNA (17%), de los cuales aproximadamente un 1,5% pertenecen a la fracción soluble (Bell, 1993), valor muy por debajo del obtenido en este estudio. Este elevado contenido en fibra puede comprometer su digestibilidad en monogástricos como las gallinas, tal y como se comentará más adelante.

En cuanto a los macrominerales, en el presente trabajo el porcentaje de P en la torta ha resultado de 0,82% y el de P fítico 0,33% (en base fresca), valores muy parecidos a los que recoge FEDNA (2019), de 0,92% y 0,59% respectivamente.

Respecto a los FAN, el más relevante en plantas de la familia *Brassicaceae* son los glucosinolatos. Estos se encuentran en la torta de camelina a concentraciones moderadas de 15-40 $\mu\text{mol/g}$ (FEDNA, 2019). En este estudio, el contenido analizado en este FAN ha resultado muy inferior (4,05 $\mu\text{mol/g}$), no superando el nivel máximo recomendado por la UE (20 $\mu\text{mol/g}$, Directiva 2008/76/UE L198:37-40) en alimentación animal. La concentración de glucosinolatos en la torta de camelina, en general, es mayor que la encontrada en las nuevas variedades de colza (2,7 $\mu\text{mol/g}$) con bajo contenido en este FAN (Siljander-Rasi *et al.*, 1996). Los taninos son el componente más minoritario del grupo de los FAN; el valor obtenido en este estudio para la torta fue de 0,835 mg/g, muy similar a los que describe FEDNA (2019): 1-2 mg/g. El ácido erúgico, difícilmente metabolizable por las aves, está presente en un 3,6% en la torta analizada en este estudio. FEDNA (2019) indica niveles de un 4-5% de este AG de cadena larga. Por último, la presencia de inhibidores de tripsina en la torta analizada (17,9 mg/g) es comparable con el valor de 18 mg/g obtenido por Budin *et al.* (1995).

El perfil lipídico de la torta (Tabla III) está compuesto en su mayoría por AG insaturados (86,7%), entre los que destacan, del grupo de los AG monoinsaturados, el oleico (15%) y cis-11-eicosenoico (20%). Los principales AG poliinsaturados omega-3 y omega-6 de la torta son el linolénico (27,9%) y el linoleico (22,3%). Aziza *et al.* (2013) reportaron resultados similares en el análisis de estos dos AG esenciales, con porcentajes de 30,2% y 24,6% respectivamente.

A nivel de los piensos experimentales, la incorporación de torta de camelina en sustitución de harina de soja y salvado no modificó el nivel de PB de los piensos y aumentó, ligeramente, el nivel de fibra (Tabla V). Además, el contenido en GB y ácido linolénico fue mayor en los piensos con un porcentaje del 10 y 15% de torta, en comparación con el resto (Tabla VI). Los valores de PB y GB analizados fueron algo superiores a los calculados, y el valor de GB aumentó ligeramente con la inclusión de torta (Tabla V).

IV.2. RENDIMIENTOS PRODUCTIVOS

En la Tabla VII se presentan los resultados globales del rendimiento productivo de las gallinas durante la fase experimental. Al inicio del experimento, el peso de los animales fue similar en todos los grupos de tratamiento ($P>0,05$), lo que muestra que las réplicas (jaulas) se distribuyeron homogéneamente entre los 8 piensos experimentales al comienzo de la prueba. Los valores de peso vivo (PV) inicial obtenidos están dentro del rango recomendado por la Guía de manejo para gallinas Lohmann Brown, situado entre los 1,85 – 2,04 kg de PV, para gallinas con una edad de 39 semanas.

Por otro lado, sí se observaron diferencias entre tratamientos en el peso final, debidas a la sustitución de harina de soja por torta de camelina ($P<0,05$). Los animales alimentados con los piensos con mayor porcentaje de inclusión de torta (15T) presentaron un peso al final de la prueba significativamente menor ($P<0,05$) que los tratamientos sin camelina o con un 5%. En

este sentido, los pesos registrados para los tratamientos con un 15% de inclusión son inferiores al peso mínimo esperado para gallinas de 51 semanas (entre los 1,87 – 2,07 kg de PV), de acuerdo con la Guía de manejo de gallinas Lohmann Brown. La inclusión de enzimas no dio lugar a diferencias significativas en peso final, aunque numéricamente, la inclusión de enzimas en los tratamientos con un 5 y un 10% de torta de camelina supuso pesos medios finales ligeramente superiores a los pesos de los tratamientos homólogos sin enzimas (+5 y +25 g, respectivamente). Por otro lado, en el global del estudio, no se observaron diferencias en CMD de pienso entre tratamientos ($P>0,05$, Tabla VII).

No obstante, cuando se analiza el CMD en detalle a lo largo del estudio (Figura IX), se observa que el consumo fue en general menor en los tratamientos con un 15% de torta en comparación con el resto los primeros 29-43 días de ensayo. La reducción observada en el peso medio de los animales podría estar relacionada con el menor consumo de pienso detectado al principio del estudio o con un menor aprovechamiento del mismo. En conjunto estos resultados sugieren que los animales son capaces de adaptarse a la torta de camelina en, aproximadamente, 40 días. Esta reducción en la ingesta debido a la inclusión de torta de camelina en el pienso ha sido descrita en otros estudios con ponedoras y también en pollos, conejos y cerdos (Peiretti *et al.*, 2007; Ryhänen *et al.*, 2007; Pekel *et al.*, 2009; Aziza *et al.*, 2010; Thacker *et al.* Widyaratane, 2012; Ciuca *et al.*, 2013), especialmente con la inclusión de niveles superiores al 10%. Thacker *et al.* Widyaratane (2012) mostraron en un ensayo que duró 22 días, que una inclusión de esta materia prima (en sustitución a la harina de colza) superior al 15% en el pienso, redujo la ganancia de peso diaria y el IT en pollos de 26 semanas. Incluso a niveles del 10% de torta de camelina, Pekel *et al.* (2009) reportaron un menor consumo de alimento y por tanto un menor crecimiento en pollos durante las 3 primeras semanas de vida.

Sin embargo, Aziza *et al.* (2010) obtuvieron resultados contrarios: la adición del 5 y 10% de torta de camelina en las dietas de pollos de engorde no tuvo efectos negativos significativos en el peso de la canal e IT a la edad de 6 semanas en una prueba que duró 42 días. En conejos alimentados con un 10 y 15% de este ingrediente, Peiretti *et al.* (2007) tampoco reportaron diferencias significativas entre grupos respecto al PV final, GMD de peso, consumo e IT. Por último, Ciuca *et al.* (2013) demostraron (en un estudio con cerdos de 68 kg), que la adición de 12% de torta de camelina en sustitución de harina de girasol en la dieta, no redujo significativamente los rendimientos productivos de los animales, mientras que los pesos de la canal, el área de músculo dorsal y la proporción de carne magra en la canal mejoraron.

Entre las posibles causas por las que la inclusión de camelina puede dar lugar a una reducción de consumo en nuestro estudio y otros se barajan la presencia de ciertos FAN junto con la naturaleza fibrosa de la camelina. Los glucosinolatos podrían estar implicados en una menor palatabilidad del pienso (Tripathi *et al.* Mishra, 2007) y afectarían la digestibilidad de la proteína, energía e incluso AG como el linoleico (Aziza *et al.*, 2013). También los factores antitripticos de los subproductos de la camelina pueden ser responsables de esta reducción del consumo. De hecho, Woyengo *et al.*, (2016) detectaron reducciones en la ingesta de pollos de 3,4g/día al incluir factores antitripticos en la dieta.

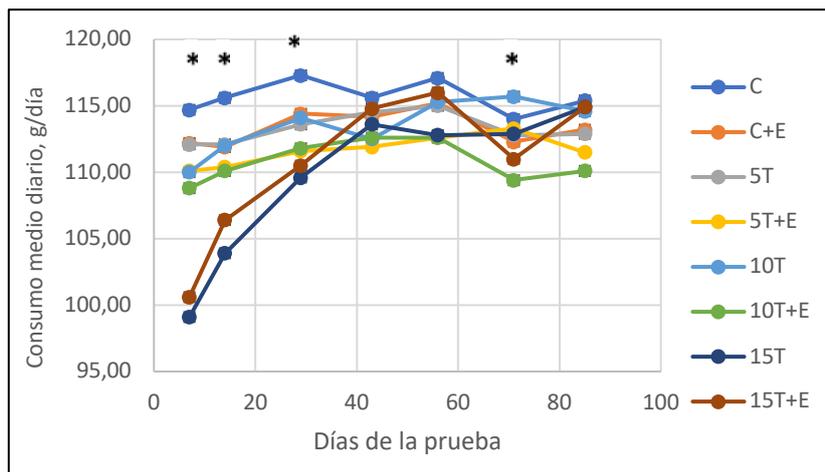


Figura IX. Evolución del consumo medio diario de pienso (g/día) por tratamiento durante el periodo experimental. Fuente: Elaboración propia.

(*) Indica diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$) entre tratamientos los siguientes días: día 7 (C vs. 10T+E, 15T y 15T+E; C+E, 5T, 5T+E, 10T y 10T+E vs 15T y 15T+E), día 14 (C, C+E, 5T y 10T vs 15T y 15T+E; 5T+E y 10T+E vs 15T), día 29 (C vs 5T+E, 15T y 15T+E), día 71 (10T vs 10T+E). P-valor: t = 0,087; p < 0,001; txP < 0,001.

C: Tratamiento control, C+E: Tratamiento control con adición de enzimas exógenas, 5T: incluye un 5% de torta de camelina, 5T+E: incluye un 5% de torta de camelina más la adición de enzimas exógenas, 10T: incluye un 10% de torta de camelina, 10T+E: incluye un 10% de torta de camelina más la adición de enzimas exógenas, 15T: incluye un 15% de torta de camelina, 15T+E: incluye un 15% de torta de camelina más la adición de enzimas exógenas.

Por otro lado, en global, el peso promedio de los huevos, el porcentaje de puesta y la masa del huevo fueron inferiores en las gallinas a las que se les administraron los piensos con mayores niveles de torta de camelina (15%) en comparación con las gallinas alimentadas con pienso control, mostrando los demás tratamientos valores intermedios (Tabla VII). Los huevos pertenecientes a los tratamientos 15T y 15T+E presentaron un peso medio menor ($P < 0,05$) comparados con los pertenecientes al tratamiento C (64,8 g, clasificados como grandes), de 61,9 y 61,5 g respectivamente y se clasificarían como medianos, según la legislación europea para su comercialización (IEH, 2009). La inclusión de enzimas no dio lugar a diferencias significativas en los distintos niveles de inclusión, si bien en los tratamientos con camelina (5, 10 y 15%) la masa de huevo fue numéricamente mayor al incluir enzimas. En cuanto al IT, las aves alimentadas con el máximo nivel de torta de camelina (15%) presentaron un mayor IT y, por tanto, una menor eficiencia alimentaria que los tratamientos sin camelina. El resto de tratamientos presentaron valores intermedios. Una vez más, la inclusión de enzimas no modificó significativamente esta variable. Sin embargo, todos los IT que se observan en este estudio están dentro de los rangos normales siendo incluso ligeramente inferiores a los que señala el manual de la estirpe (alrededor de 2,0 g de pienso/g de masa de huevo).

En cuanto a la mortalidad observada, durante el transcurso de la prueba se registraron un total de 5 bajas: 2 gallinas del tratamiento 10T, 1 del tratamiento C+E, 1 del tratamiento 5T y otra del tratamiento 15T+E. La causa de las bajas fue desconocida, pero por su distribución e información de las necropsias, no parecen estar relacionadas con el tratamiento experimental asignado.

Tabla VII. Efecto de la inclusión de torta de camelina en los piensos experimentales sobre el rendimiento productivo de las gallinas ponedoras durante el periodo experimental (12 semanas).

Variable	Tratamientos experimentales ¹								EEM ²	P-valor		
	C	C+E	5T	5T+E	10T	10T+E	15T	15T+E		N ³	E ⁴	N x E
Peso vivo inicial (kg)	1,991	1,998	2,003	1,999	2,019	2,014	2,000	1,992	0,030	0,877	0,915	0,995
Peso vivo final (kg)	2,008a	1,997a	1,979a	1,984a	1,887ab	1,912ab	1,818b	1,801b	0,030	<0,001	0,984	0,896
Peso medio del huevo (g)	64,8a	64,2ab	64,1ab	63,9ab	62,2ab	63,0ab	61,9b	61,5b	0,682	<0,001	0,844	0,738
Porcentaje de puesta (%)	96,8a	96,1a	92,8ab	95,2ab	92,6ab	92,4ab	90,2b	91,1ab	1,34	<0,001	0,532	0,663
Masa del huevo (g)	62,7a	61,7ab	59,5abc	60,8ab	57,6bc	58,2bc	55,8c	56,1c	1,04	<0,001	0,694	0,699
Consumo medio diario (g pienso/día)	114,7	112,5	112,4	110,9	112,7	110,5	109,9	110,6	1,67	0,232	0,261	0,784
Índice de transformación (g pienso/g masa de huevo)	1,83bc	1,82c	1,88abc	1,83bc	1,96abc	1,90abc	1,97ab	1,98a	0,033	<0,001	0,270	0,673

¹C: Tratamiento control, C+E: Tratamiento control con adición de enzimas exógenas, 5T: incluye un 5% de torta de camelina, 5T+E: incluye un 5% de torta de camelina más la adición de enzimas exógenas, 10T: incluye un 10% de torta de camelina, 10T+E: incluye un 10% de torta de camelina más la adición de enzimas exógenas, 15T: incluye un 15% de torta de camelina, 15T+E: incluye un 15% de torta de camelina más la adición de enzimas exógenas.

²Error estándar de la media.

³Nivel de inclusión de la torta de camelina en los tratamientos experimentales.

⁴Enzimas exógenas añadidas en los piensos experimentales.

^{a-c} Letras distintas dentro de una misma fila significa que existen diferencias significativas (P < 0,05). N=12

En la Tabla VIII se muestra la evolución de los rendimientos productivos de los animales durante los 3 periodos que se consideraron en el ensayo, de 0 a 29 días, de 29 a 56 días y de 56 a 85 días. El peso medio del huevo, el porcentaje de puesta y la masa evolucionaron de manera muy similar durante estos periodos. Los 3 parámetros fueron inferiores en las gallinas a las que se les administraron los tratamientos con mayores niveles de torta (15% sobretodo) en comparación con las gallinas alimentadas con pienso control, mostrando los demás tratamientos valores intermedios. La inclusión de enzimas no dio lugar a diferencias significativas en los distintos niveles de inclusión de torta, si bien sí se observaron diferencias numéricas en masa de huevo a favor de los tratamientos con torta (5, 10 y 15%) que incluían enzimas en el periodo 2. En lo que respecta al consumo e IT, en estos se obtuvo una interacción significativa ($P < 0,05$) entre el tratamiento y el periodo. En el caso del CMD, esta interacción se debe a que las diferencias entre tratamientos se limitan al primer periodo de estudio (0-29 días), tal y como se ha comentado anteriormente. Más allá las diferencias no fueron significativas. En el caso del IT, la interacción se debe a que las diferencias entre tratamientos se agudizan con el tiempo, siendo más notables en los periodos 2 y 3. En este sentido, en los periodos 2 y 3 los tratamientos C, C+E y 5T+E presentaron mejores eficiencias ($P < 0,05$) que los tratamientos con un 15% de inclusión de torta de camelina.

Tabla VIII. Evolución del efecto de la inclusión de torta de camelina en los piensos experimentales sobre el rendimiento productivo de las gallinas ponedoras por periodos (0-29 días, 29-56 días y 56-85 días).

Periodo	Tratamiento experimental ¹	Variables				
		Peso medio del huevo (g)	Porcentaje de puesta (%)	Masa del huevo (g)	Consumo medio diario (g pienso/día)	Índice de transformación (g pienso/g masa de huevo)
Periodo 1 (0-29 días de estudio)	C	65,5	97,1	64,0a	115,2a	1,82
	C+E	64,5	97,5	63,4ab	112,2ab	1,78
	5T	65,1	94,0	61,7abc	111,8ab	1,84
	5T+E	64,5	95,1	61,8abc	110,0ab	1,80
	10T	63,3	93,9	59,9abc	111,6ab	1,89
	10T+E	63,7	92,7	59,5abc	110,3ab	1,88
	15T	62,8	90,8	57,5c	104,7b	1,84
	15T+E	62,3	92,4	58,2b	106,0b	1,85
	EEM²	0,823	1,49	1,23	1,78	0,036
Periodo 2 (29-56 días de estudio)	C	65,8	97,6	64,7a	115,3	1,80a
	C+E	65,0	96,1	63,4ab	113,6	1,81a
	5T	65,0	93,3	61,2abc	113,7	1,89ab
	5T+E	65,0	95,3	62,4abc	111,2	1,80a
	10T	63,2	92,5	59,0abc	112,8	1,93ab
	10T+E	64,1	93,7	60,5abc	112,2	1,88ab
	15T	62,8	91,2	57,8c	112,3	1,97ab
	15T+E	62,7	91,9	58,3b	114,3	1,99b
	EEM	0,813	1,45	1,23	1,80	0,039
Periodo 3 (56-85 días de estudio)	C	66,1	96,2	64,1a	113,7	1,79a
	C+E	65,7	95,1	62,9ab	111,7	1,79a
	5T	65,4	91,9	60,7ab	111,8	1,88ab
	5T+E	65,2	95,5	62,7ab	111,4	1,79a
	10T	63,1	92,3	58,8ab	114,2	1,98ab
	10T+E	63,9	91,4	58,9ab	109,3	1,88ab
	15T	63,0	89,1	56,7b	113,0	2,02b
	15T+E	62,6	89,4	56,7b	111,7	2,01b
	EEM	0,793	1,81	1,46	1,89	0,046
P-valor	Tratamiento	0,002	0,004	<0,001	0,452	<0,001
	Periodo	0,003	0,008	0,036	<0,001	<0,001
	Tratamiento x periodo	0,361	0,818	0,742	<0,001	<0,001

¹C: Tratamiento control, C+E: Tratamiento control con adición de enzimas exógenas, 5T: incluye un 5% de torta de camelina, 5T+E: incluye un 5% de torta de camelina más la adición de enzimas exógenas, 10T: incluye un 10% de torta de camelina, 10T+E: incluye un 10% de torta de camelina más la adición de enzimas exógenas, 15T: incluye un 15% de torta de camelina, 15T+E: incluye un 15% de torta de camelina más la adición de enzimas exógenas.

²Error estándar de la media.

^{a-c} Letras distintas dentro de una misma fila significa que existen diferencias significativas (P < 0,05). N=12

La reducción del peso promedio de los huevos, porcentaje de puesta y masa del huevo a medida que aumenta el nivel de inclusión de torta en el pienso podría tener relación con el menor consumo de pienso de estos grupos (especialmente en el primer periodo) y podría estar también relacionado con una reducción en la digestibilidad de los nutrientes de los piensos con camelina. En este estudio no se realizó un balance de digestibilidad, pero en otros sí se ha descrito que el elevado nivel de PNA solubles de la torta puede incrementar la viscosidad de la digesta en pollos, así como afectar la ingestión, absorción y digestibilidad de los nutrientes (Woyengo *et al.*, 2016). La inclusión de enzimas en este caso no mejoró estos rendimientos significativamente. Las diferencias encontradas en IT en los periodos 2 y 3 del estudio podrían estar indicando que los animales alimentados con torta de camelina son menos eficientes (menor digestibilidad), ya que justo en estos periodos el consumo es similar entre grupos, pero los animales producen menos g de masa de huevo. Sin embargo, este parámetro mejora, aunque no significativamente, con la adición de enzimas en los piensos (Tabla VIII) con un 5 y un 10% (-0,09 y -0,1) de torta (sobre todo en el periodo 3); no en el tratamiento sin torta o con niveles del 15% de inclusión. En este sentido, la presencia de un complejo enzimático en piensos con un nivel moderado de torta estaría favoreciendo su aprovechamiento.

Hay otros estudios en la bibliografía que describen efectos similares en ponedoras (Cherian *et al.*, 2009; Kakani *et al.* 2012; Cherian *et al.* 2016). Cherian *et al.* (2016), en un ensayo que duró 16 semanas en el que se evaluó el efecto de la adición de harina de camelina y de lino en la producción y calidad del huevo de gallinas ponedoras de 48 semanas de edad, observaron un peso significativamente menor (60,4 g) de los huevos provenientes de las gallinas alimentadas con el tratamiento de 10% de camelina, al de los huevos de gallinas alimentadas con la dieta control a base de soja y maíz (63,4 g) y lino (63,7 g).

Por otro lado, Cherian *et al.* (2009) en un ensayo de 80 días llevado a cabo con gallinas ponedoras ISA Brown Leghorn alimentadas con un 5% y 10% de inclusión de torta de camelina en las dietas, concluyeron que no había diferencias en el porcentaje de puesta diario y en el consumo de pienso en comparación con la dieta control. Sin embargo, cuando el porcentaje de inclusión era del 15%, tanto la ingesta de pienso (98,7 g/gallina) como el porcentaje de puesta diario fue más bajo ($P < 0,05$) que los obtenidos en los grupos de animales alimentados con el tratamiento control o sin adición de torta de camelina. Sin embargo, en una experiencia realizada por Kakani *et al.* (2012), no se detectaron diferencias en el porcentaje de puesta, en el peso final y en la ingesta de pienso entre los grupos de animales alimentados con este ingrediente al 5 y 10%.

Por lo tanto, el límite de inclusión de camelina considerando los resultados productivos en este estudio podría situarse, al igual que en otros estudios en un 15% de inclusión. Los valores obtenidos en producción y conversión en este trabajo están dentro del óptimo considerado para esta estirpe según el manual, a excepción de los obtenidos en los tratamientos 15T y 15T+E para el porcentaje de puesta, peso medio del huevo y masa del huevo. Por otro lado, el efecto de las enzimas parece reservarse únicamente para la mejora de los IT en gallinas alimentadas con los piensos 5T+E y 10T+E.

IV.3. CALIDAD DEL HUEVO

En la Tabla IX se muestran los resultados de las características y parámetros de calidad del huevo obtenidos. En el análisis estadístico de estos datos, la interacción entre el tratamiento y el periodo no fue significativa para ninguno de los parámetros estudiados. Por esta razón la tabla muestra los datos del conjunto de huevos obtenidos en los 3 periodos del ensayo.

En primer lugar, en cuanto a los principales parámetros de calidad se observan diferencias en espesor de cáscara, U.H. y color de yema entre tratamientos. El espesor de cáscara se redujo con la inclusión de torta de camelina en sustitución de harina de soja en los piensos, especialmente a partir de un 10% de inclusión ($P < 0,05$). Es importante destacar la mejora ($P < 0,05$) en este parámetro, derivada de la inclusión de enzimas, en los tratamientos C+E (+7 μm), 5T+E (+7 μm) y 10T+E (+11 μm , $P < 0,05$).

De manera similar, en lo que respecta al color de la yema, no se han encontrado diferencias entre los huevos pertenecientes a los tratamientos C, C+E, 5T y 5T+E ni entre los de los tratamientos 10T, 10T+E, 15T y 15T+E, pero sí entre estos dos grupos. De esto se extrae que a partir de más de un 10% de inclusión de torta, el color de la yema es menos anaranjado y, por lo tanto, más pálido y de tonalidad amarilla. La inclusión de enzimas aumentó la intensidad del color de manera numérica en todos los tratamientos (0%: +0,10, 5%: +0,07, 10%: +0,05 y 15%: +0,05). En cuanto a las U.H., los resultados muestran una interacción entre el nivel de inclusión y la adición de enzimas. Numéricamente, los tratamientos con torta de camelina muestran menores niveles de U.H. cuando se añaden enzimas, al contrario que el tratamiento sin torta.

En cuanto a los parámetros relativos a las proporciones de las diferentes partes del huevo, los resultados muestran diferencias de peso de las diferentes partes que son proporcionales a las diferencias de peso de huevo encontradas entre tratamientos (menor peso a medida que aumenta el nivel de torta en sustitución de harina de soja en los piensos, especialmente en los niveles más altos de inclusión, 15%). Cuando estos datos se expresan en proporción sobre el peso del huevo, la proporción de cáscara sigue siendo menor en el tratamiento con un 15% de torta, mientras que no se observaron diferencias entre la proporción de albumen y yema y la ratio entre ambos, entre tratamientos. La inclusión de enzimas no pareció tener efecto sobre ninguno de estos parámetros. Es importante destacar que, a pesar de las diferencias encontradas en calidad de cáscara, color y U.H., los valores registrados están dentro de los valores considerados normales en huevo de gallina (Cavero, 2016).

La reducción del espesor de cáscara y la proporción de cáscara con respecto al peso total del huevo a medida que aumenta la inclusión de torta de camelina en los piensos denota un empeoramiento de la calidad de la cáscara, sobre todo en niveles de inclusión de un 10 y 15%. Este efecto no fue observado en otros estudios con torta de camelina en gallinas (Cherian *et al.*, 2009; Cherian *et al.* Quezada, 2016). Por otro lado, ambos parámetros parecen mejorar ligeramente pero no significativamente con la adición de enzimas en todos los tratamientos, excepto el que contiene un 15% de torta. Estos resultados podrían estar relacionados con una menor disponibilidad del Ca y P en los piensos con torta de camelina y una mejora de su disponibilidad con el uso de enzimas, respectivamente. Aunque los piensos de este estudio

fueron formulados para contener la misma cantidad de estos minerales, es posible que la disponibilidad de ellos en la torta fuera menor que en el resto de materias primas y con ello, la retención de estos minerales en el huevo.

La adición de fitasas, enzimas capaces de hidrolizar los fitatos y obtener P digestible de las materias primas, parece mejorar el aprovechamiento del P en dietas con torta de camelina en cerdos y pollos de engorde (Adhikari *et al.*, 2016; Pekel *et al.*, 2017). Probablemente el uso de fitasas en los piensos experimentales de este estudio podría haber mejorado el aprovechamiento del P de la torta de camelina en los piensos y, por tanto, la deposición de cristales de CaCO₃ para la formación de una cáscara del huevo sólida. Igualmente, conocer la disponibilidad del Ca y P de la torta de camelina para poder formular en base a minerales disponibles podría mejorar sustancialmente estos resultados y ayudar a optimizar la formulación de piensos en gallinas ponedoras. Con respecto al complejo enzimático estudiado (carbohidrasas + proteasa), su efecto sobre la cáscara a las dosis estudiadas es bajo y podría estar más vinculado a otra materia prima, ya que el tratamiento control también se ve ligeramente mejorado con la adición de este complejo enzimático.

Con respecto al color de la yema, es sabido que viene determinado en primera línea por factores nutricionales y también por el estado de salud de las aves, siendo un carácter de baja heredabilidad. Los pigmentos presentes en la yema de un huevo responsables de su coloración natural son los carotenoides (aportados a través del alimento), y más específicamente las xantofilas (Cherian *et al.*, 2009). Estos poseen propiedades antioxidantes y están asociados a la buena salud visual humana (Ribaya-Mercado *et al.*, 2004). En este estudio, los bajos valores de color observados en los huevos de gallinas alimentadas con los tratamientos con más torta de camelina (10 y 15%) podrían ser debidos a la baja concentración de carotenoides y xantofilas liposolubles presentes en la torta de camelina como consecuencia del proceso de su producción después de la extracción del aceite, tal y como sugieren Cherian *et al.* (2009) y Aziza *et al.* (2013). Las diferencias no pueden ser atribuibles al porcentaje en maíz, ingrediente más rico en las xantofilas luteína y zeaxantina (FEDNA, 2019), pues este es igual en todos los piensos experimentales (51%, en base a MF).

Finalmente, con respecto a las U.H., estas son una medida que correlaciona la altura del albumen denso con el peso del huevo y que se emplea como indicador de frescura del huevo. El valor de las U.H. decrece con el paso del tiempo tras la oviposición (Roberts, 2004), siendo este descenso más acusado cuando la temperatura de almacenamiento aumenta. En este caso todos los huevos fueron recogidos durante las 24 h anteriores a la medición de la calidad. La razón que explica estas diferencias entre tratamientos no es clara. Cherian *et al.* (2009) no encontraron diferencias atribuibles a la dieta sobre la altura del albumen de huevos de gallinas alimentadas con este ingrediente. Sin embargo, en el mismo trabajo, se vio que el peso del albumen como porcentaje del peso del huevo fue más alto en los huevos 10 y 15% en comparación con los huevos control ($P < 0,05$), parámetros que en este estudio no se vieron alterados por la inclusión de camelina.

En conjunto, la sustitución de harina de soja por torta de camelina a niveles de un 10% o superiores en piensos formulados en base a minerales totales puede tener consecuencias

negativas sobre la calidad de la cáscara y reducir la intensidad del color de la yema. Al menos los efectos sobre la calidad de la cáscara podrían ser mejorados con una formulación basada en minerales digestibles o el uso de fitasas.

Tabla IX. Efecto de la inclusión de torta de camelina en los piensos experimentales de las gallinas ponedoras sobre características y parámetros de calidad del huevo.

Variable	Tratamientos experimentales ¹								EEM ²	P-valor		
	C	C+E	5T	5T+E	10T	10T+E	15T	15T+E		N ³	E ⁴	N x E
N ⁵	148	140	122	135	118	133	135	133				
Peso medio del huevo (g)	65,3a	64,5ab	64,1ab	64,5ab	62,1c	63,4bc	62,2c	61,7c	0,460	<0,001	0,721	0,088
Espesor de cáscara (mm)	0,385ab	0,392a	0,375bc	0,382ab	0,356de	0,367cd	0,342e	0,344e	0,004	<0,001	0,007	0,647
Altura de albumen (mm)	8,36	8,53	8,82	8,36	8,69	8,60	8,66	8,57	0,130	0,334	0,183	0,075
Unidades Haugh (U.H.)	89,6b	90,6ab	92,4a	89,8ab	92,2ab	91,4ab	91,9ab	91,6ab	0,692	0,032	0,150	0,046
Color de la yema	5,27a	5,37a	5,23a	5,30a	4,85b	4,90b	4,79b	4,84b	0,073	<0,001	0,155	0,978
N	72	72	67	72	66	72	71	72				
Peso de la cáscara (g)	6,34a	6,44a	6,12ab	6,31a	5,86bcd	5,90bc	5,67cd	5,51d	0,085	<0,001	0,456	0,186
Peso del albumen (g)	43,1a	42,2ab	42,9a	42,6ab	41,3ab	42,1ab	41,4ab	41,0b	0,434	<0,001	0,545	0,246
Peso de la yema (g)	16,2a	16,1a	16,2a	15,9ab	16,1a	16,0ab	15,4b	15,7ab	0,147	<0,001	0,727	0,241
Proporción de cáscara (%)	9,69ab	9,95a	9,43abc	9,75ab	9,27bcd	9,25bcd	9,06cd	8,87d	0,131	<0,001	0,324	0,151
Proporción del albumen (%)	65,5	65,2	65,7	65,6	65,3	65,7	66,2	65,8	0,272	0,055	0,493	0,450
Proporción de la yema (%)	24,8	24,9	24,8	24,7	25,4	25,1	24,7	25,3	0,225	0,093	0,808	0,156
Proporción yema/albumen (%)	38,0	38,3	37,9	37,8	39,1	38,4	37,4	38,6	0,492	0,306	0,631	0,246

¹C: Tratamiento control, C+E: Tratamiento control con adición de enzimas exógenas, 5T: incluye un 5% de torta de camelina, 5T+E: incluye un 5% de torta de camelina más la adición de enzimas exógenas, 10T: incluye un 10% de torta de camelina, 10T+E: incluye un 10% de torta de camelina más la adición de enzimas exógenas, 15T: incluye un 15% de torta de camelina, 15T+E: incluye un 15% de torta de camelina más la adición de enzimas exógenas.

²Error estándar de la media.

³Nivel de inclusión de la torta de camelina en los tratamientos experimentales.

⁴Enzimas exógenas añadidas en los piensos experimentales.

⁵N: Número de huevos empleados en la medida.

^{a-e} Letras distintas dentro de una misma fila significa que existen diferencias significativas ($P < 0,05$).

En la Tabla X se muestra el perfil lipídico (% del total de AG) de las yemas de huevo y cantidad total de AG (mg/100 mg muestra). A medida que se incrementa el nivel de torta de camelina en los piensos, se observa un menor porcentaje ($P < 0,001$) de AG saturados total en la yema. En cambio, el porcentaje de AG poliinsaturados total aumenta, siendo máximo en el tratamiento con un 15% de inclusión ($P < 0,001$). En cuanto al porcentaje total de AG monoinsaturados, no se observan diferencias significativas entre tratamientos. La inclusión de enzimas no pareció tener efecto sobre el perfil lipídico y cantidad total de AG.

Del porcentaje de AG saturados individuales, se aprecia una disminución en todos ellos a excepción del araquídico y heptadecanoico. De los AG poliinsaturados individuales en el huevo, cabe destacar el linolénico, pues es el principal AG esencial omega-3 presente en la torta de camelina. También se muestran mayores porcentajes de eicosapentanoico (EPA) y docosahexaenoico (DHA) con la inclusión de este ingrediente. El incremento de AG omega-3 observado en este estudio es de +0,32, +0,65, +0,98% en las yemas de los huevos de gallinas alimentadas con los piensos 5T, 10T y 15, respectivamente, con respecto al control. El total de AG omega-6 no fue diferente entre tratamientos. En consecuencia, la ratio AG omega-6/AG omega-3 fue menor en los tratamientos con mayor nivel de torta ($P < 0,001$). Por último, de los AG monoinsaturados, se aprecia un porcentaje significativamente mayor de ácido erúrico (FAN de la torta) en la yema de los huevos 15T con respecto al control (0,010 vs 0,014 %). Sin embargo, los niveles encontrados en huevo están lejos de ser tóxicos en salud humana (EFSA CONTAM, 2016).

Estos resultados se asemejan a los obtenidos por otros autores (Cherian *et al.*, 2009; Kakani *et al.*, 2012; Aziza *et al.*, 2013). Cherian *et al.* (2009) observaron un aumento en el porcentaje total de AG omega-3 en los huevos de gallinas alimentadas durante 80 días con un 5, 10 y 15% de torta de camelina (+2,22, +2,37, +2,67%) con respecto a los huevos control (0,32%). Este aumento fue superior al observado en el presente estudio. Kakani *et al.* (2012) también demostraron que la inclusión de un 10% de esta materia prima en el pienso provocó un aumento del contenido en linolénico en el perfil lipídico (% del total de AG) del huevo, en concreto, +1,5% y +2,6% con respecto a los huevos de los tratamientos 5% y 0%. Resultados similares obtuvieron posteriormente Aziza *et al.* (2013): las gallinas a las que se les administró una dieta con un 10% de torta de camelina produjeron huevos con un porcentaje de linolénico significativamente superior al de las aves alimentadas a base de soja y maíz, y 10% de torta de linaza (+2,47% y +2,18%). Los autores anteriormente citados también describieron un mayor porcentaje total de los AG semiesenciales EPA y DHA a medida que aumentaba el nivel de torta en el pienso. Estos AG poliinsaturados son más propios de fuentes marinas (Swanson *et al.*, 2012). Es probable que este aumento en EPA y DHA en yema con la inclusión de torta de camelina se deba a una transformación de ácido linolénico en estos dos AG (Brenner, 1971).

El consumo de AG omega-3 está relacionado con una disminución del riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares (Karvonen *et al.*, 2002). Además, estos AG ejercen un papel fundamental en el normal desarrollo y maduración del sistema nervioso central, así como de la función inmune (Neuringer *et al.*, 1988; Yashodhara *et al.*, 2009; Kromhout *et al.*, 2011). Por lo tanto, el aumento observado en linolénico, EPA y DHA en los huevos, como consecuencia de añadir torta de camelina a los piensos, es esperable que tenga efectos positivos en la salud de los consumidores.

Tabla X. Efecto de la inclusión de torta de camelina en los piensos experimentales de las gallinas ponedoras sobre el perfil lipídico (% del total de ácidos grasos, AG) de las yemas de huevo y cantidad total de AG (mg/100 mg muestra).

Perfil lipídico (%)	Tratamientos experimentales ¹								EEM ²	P-valor		
	C	C+E	5T	5T+E	10T	10T+E	15T	15T+E		N ³	E ⁴	N x E
AG saturados	32,8a	32,7ab	31,7cd	32,1bc	31,4cde	31,2de	31,2de	30,9e	0,169	<0,001	0,400	0,234
Ácido mirístico (C14:0)	0,271a	0,272a	0,244ab	0,239b	0,245ab	0,248ab	0,237b	0,239b	0,007	<0,001	0,960	0,941
Ácido pentadecanoico (C15:0)	0,058	0,061	0,061	0,058	0,061	0,061	0,065	0,062	0,002	0,150	0,525	0,520
Ácido palmítico (C16:0)	23,9ab	24,0a	23,1cd	23,3bc	22,9cd	22,7cde	22,5de	22,0e	0,151	<0,001	0,296	0,174
Ácido esteárico (C18:0)	8,41a	8,15ab	8,11ab	8,30ab	7,99b	8,00b	8,20ab	8,31ab	0,086	0,005	0,851	0,062
Ácido araquídico (C20:0)	0,009bc	0,008c	0,008bc	0,009bc	0,010abc	0,011ab	0,012a	0,012a	0,001	<0,001	0,599	0,500
Ácido heptadecanoico (C17:0)	0,178b	0,182ab	0,190ab	0,188ab	0,195ab	0,200a	0,199a	0,193ab	0,004	<0,001	0,885	0,452
AG monoinsaturados	40,7ab	40,0ab	40,0ab	40,9a	39,9ab	40,0ab	39,2b	40,0ab	0,300	0,095	0,234	0,096
Ácido miristoleico (C14:1)	0,038a	0,038a	0,032ab	0,030ab	0,028b	0,029b	0,027b	0,028b	0,002	<0,001	0,723	0,858
Ácido palmitoleico (C16:1)	2,17a	2,17a	1,85b	1,87b	1,84b	1,78b	1,71b	1,71b	0,057	<0,001	0,831	0,931
Ácido heptadecenoico (C17:1)	0,114	0,119	0,120	0,107	0,114	0,116	0,115	0,117	0,004	0,904	0,784	0,142
Ácido elaidico (C18:1n9t)	0,139a	0,133ab	0,130ab	0,129b	0,124bc	0,127bc	0,118c	0,125bc	0,002	<0,001	0,675	0,032
Ácido oleico (C18:1n9c)	38,0	37,3	37,5	38,4	37,4	37,6	36,7	37,6	0,343	0,140	0,205	0,087
Ácido cis-11-eicosenoico (C20:1)	0,223d	0,229d	0,306c	0,297c	0,384b	0,376b	0,475a	0,467a	0,008	<0,001	0,384	0,724
Ácido erúcico (C22:1n9)	0,010b	0,010b	0,011ab	0,009b	0,011ab	0,013ab	0,015a	0,014ab	0,001	<0,001	0,520	0,263
AG poliinsaturados	26,5d	27,3bcd	28,3abc	27,1cd	28,6abc	28,7ab	29,6a	29,1a	0,371	0,006	0,280	0,079
Ácido linoleico (C18:2n6c)	21,5b	22,0ab	22,7ab	21,6ab	22,6ab	22,6ab	23,0a	22,6ab	0,318	<0,001	0,459	0,051
Ácido gamma-linolénico (C18:3n6)	0,112a	0,110ab	0,100bc	0,096c	0,097c	0,105abc	0,099bc	0,104abc	0,003	<0,001	0,356	0,123
Ácido linolénico (C18:3n3)	1,04d	1,10d	1,55c	1,45c	1,95b	1,99b	2,42a	2,38a	0,041	<0,001	0,796	0,239
Ácido cis-11,14-eicosadienoico (C20:2)	0,201d	0,211cd	0,233bcd	0,212cd	0,247abc	0,235bcd	0,273a	0,259ab	0,008	<0,001	0,116	0,293
Ácido cis-8,11,14-eicosatrienoico (C20:3n6)	0,154c	0,156bc	0,159bc	0,152c	0,166abc	0,166abc	0,183a	0,173ab	0,004	<0,001	0,249	0,470

Ácido cis-11,14,17-eicosatrienoico (C20:3n3)	0,017d	0,020d	0,031c	0,031c	0,045b	0,043b	0,061a	0,057a	0,002	<0,001	0,499	0,380
Ácido araquidónico (C20:4n6)	1,90ab	2,05a	1,83ab	1,84ab	1,75b	1,79ab	1,69b	1,72b	0,068	0,001	0,228	0,682
Ácido cis-13,16-docosadienoico (C22:2)	0b	0b	0b	0b	0,0010b	0,0011b	0,0054a	0,0012b	0,001	<0,001	0,034	0,003
Ácido cis-5,8,11,14,17-eicosapentaenoico (C20:5n3) (EPA)	0,0004d	0,0008d	0,004cd	0,004cd	0,008bc	0,010b	0,016a	0,016a	0,001	<0,001	0,508	0,889
Ácido cis-7,10,13,16-Docosatetraenoico (22:4n-6)	0,290a	0,302a	0,189b	0,187b	0,132bc	0,122c	0,101c	0,109c	0,013	<0,001	0,838	0,814
Ácido cis-7,10,13,16,19-Docosapentaenoico (22:5n-3)	0,111c	0,124c	0,135c	0,145b	0,155abc	0,152abc	0,186ab	0,190a	0,010	<0,001	0,409	0,881
Ácido cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoico (C22:6n3) (DHA)	1,19c	1,21c	1,37b	1,35b	1,48a	1,49a	1,56a	1,55a	0,024	<0,001	0,858	0,767
AG n-3	1,29d	1,33d	1,66c	1,59c	1,94b	1,98b	2,30a	2,27a	0,032	<0,001	0,758	0,318
AG n-6	13,1	13,3	13,4	12,8	13,2	13,3	13,6	13,3	0,212	0,379	0,296	0,166
Ratio n-6/n-3	10,2a	10,0a	8,09b	8,03b	6,82c	6,74c	5,93d	5,88d	0,085	<0,001	0,205	0,987
AG totales, mg/100mg de muestra	54,7	54,0	53,8	53,4	53,5	53,7	54,2	54,0	0,492	0,294	0,443	0,831

¹C: Tratamiento control, C+E: Tratamiento control con adición de enzimas exógenas, 5T: incluye un 5% de torta de camelina, 5T+E: incluye un 5% de torta de camelina más la adición de enzimas exógenas, 10T: incluye un 10% de torta de camelina, 10T+E: incluye un 10% de torta de camelina más la adición de enzimas exógenas, 15T: incluye un 15% de torta de camelina, 15T+E: incluye un 15% de torta de camelina más la adición de enzimas exógenas.

²Error estándar de la media.

³Nivel de inclusión de la torta de camelina en los tratamientos experimentales.

⁴Enzimas exógenas añadidas en los piensos experimentales.

^{a-e} Letras distintas dentro de una misma fila significa que existen diferencias significativas (P < 0,05). N=12

V. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en este estudio pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- **La sustitución de harina de soja por torta de camelina** en gallinas ponedoras:
 1. Redujo el consumo de pienso durante los primeros 29 días de estudio, en especial en los tratamientos con un mayor nivel de inclusión de torta (15%). Sin embargo, estas diferencias se minimizaron durante los últimos 60 días de estudio, no afectando al consumo global de las 12 semanas de ensayo.
 2. Disminuyó el peso medio del huevo, el porcentaje de puesta y la masa de huevo, especialmente con la inclusión de torta al 15% y, aumentó el índice de transformación (g pienso/g masa de huevo) en este grupo durante el último tercio del estudio (56-85 días).
 3. Redujo el espesor y peso de la cáscara y produjo una menor intensidad de color de la yema a partir de un 10% de inclusión de torta.
 4. Provocó un incremento lineal en el porcentaje total de AG poliinsaturados en el huevo, y una reducción de la ratio omega-6/omega-3, potencialmente beneficiosa en salud humana.

- **La inclusión de un complejo multienzimático (carbohidrasas y proteasas)** en piensos con torta de camelina en gallinas ponedoras:
 5. Mejoró numéricamente el índice de transformación en los tratamientos con un 5 y 10% de torta de camelina.
 6. No afectó significativamente a los parámetros de calidad de huevo.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- ACAMOVIC, T.; C. GILBERT; K. LAMB and WALKER, K.C. 1999. Nutritive value of *Camelina sativa* meal for poultry. *British Poultry Science*; 40(1):27–41.
- ACOSTA, A. y CÁRDENAS, M. 2006. Enzimas en la alimentación de las aves. Fitasas. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*; 40(4):377–387.
- ADEOLA, O. and BEDFORD, M.R. 2004. Exogenous dietary xylanase ameliorates viscosity induced anti-nutritional effects in wheat-based diets for White Pekin ducks (*Anas platyrhynchos domesticus*). *British Journal of Nutrition*; 92:87–94.
- ADHIKARI, P.A.; HEO, J.M. and NYACHOTI, C.M. 2016. Standardized total tract digestibility of phosphorus in camelina (*Camelina sativa*) meal fed to growing pigs without or phytase supplementation. *Animal Feed Science and Technology*; 214:104–109.
- ALMEIDA, F.N.; HTOO, J.K.; THOMSON, J. and STEIN, H.H. 2013. Amino acid digestibility in camelina products fed to growing pigs. *Canadian Journal of Animal Science*; 93(3): 335–343.
- ALTIERI, M.A. y PENGUE, W.A. 2006. La soja transgénica en América Latina. Una maquinaria de hambre, deforestación y devastación socio ecológica. *Biodiversidad*; 47:14–19.
- AOAC, 2019. Official Methods of Analysis, 21st ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, USA.
- APAJALAHTI, J. y KETTUNEN, A. 2002. Efecto de la dieta sobre la flora microbiana en el tracto gastrointestinal de aves. XVIII Curso de Especialización *FEDNA*.
- AZCONA, J.O.; IGLESIAS, B.F. y CHARRIERE, M.V. 2013. Efecto de diferentes procesos de desactivado aplicados al grano de soja sobre el desempeño de las aves. *INTA, EEA Pergamino, Sección Aves*.
- AZIZA, A. E.; PANDA, A. K.; QUEZADA, N. and 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.
- AZIZA, A. E.; QUEZADA, N. and CHERIAN, G. 2010a. Feeding *Camelina sativa* meal to meat-type chickens: Effect on production performance and tissue fatty acid composition. *Journal of Applied Poultry Research*; 19:157–168.
- BARBOSA, N.A.; SAKOMURA, N.K.; FERNANDES, J.B. e DOURADO, L.R. 2008. Enzimas exogenas no desempenho e na digestibilidade ileal de nutrientes em frangos de corte. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*; 43(6):755–762.
- BEDFORD, M.R. 1993. Mode of action of feed enzymes. *Journal of Applied Poultry Research*; 2:85–92.

- BERTI, M.; WILCKENS, R.; FISCHER S.; SOLIS, A., and JOHNSON, B. 2011. Seeding date influence on camelina seed yield, yield components, and oil content in Chile. *Industrial Crops and Products*; 34(2), 1358-1365.
- BELL J. M. 1993. Factors affecting the nutritional value of canola meal: A review, *Can. J. Anim. Sci.*,73:679–697.
- BOWEN, K.J.; HARRIS, W.S. and KRIS-ETHERTON, P.M. 2016. *Current treatment options in cardiovascular medicine*; 18:69.
- BRENES, A.; LÁZARO, R.; GARCÍA, M. and MATEOS, G.G. 1996. Utilización práctica de complejos enzimáticos en avicultura. XII Curso de Especialización *FEDNA*.
- BRENNER, R.R. 1971. The desaturation step in the animal biosynthesis of polyunsaturated fatty acids. *Lipids*; 6:567–575.
- BUDIN, J.T.; BREENE, W.M. and PUTNAM, D.H. 1995. Some compositional properties of camelina (*Camelina sativa* L. Crantz) seeds and oils. *JAACS*, 72:309–315.
- BÜLBÜL, T. and ULUTAS, E. 2015. The effects of dietary supplementation of false flax (*Camelina sativa* L.) meal on performance, egg quality traits, and lipid peroxidation in laying quails. *Eurasian Journal of Veterinary Sciences*; 31(1):8–15
- BUTLER, E.J.; PEARSON, A.W. and FENWICK, G.R. 1982. Problems Which Limit the Use of Rapeseed Meal as a Protein Source in Poultry Diets. *Journal of the Science of Food Agriculture*; 33:866-875.
- CANO, J.L. 2018. Nuevas materias primas: torta de camelina. *NutriNews*. <https://nutricionanimal.info/materias-primas-torta-de-camelina/> Consultado el 03/08/2019.
- CARBAJAL, A. 2006. Calidad nutricional de los huevos y relación con la salud. *Revista de Nutrición Práctica*; 10:73–76.
- CARMO-SILVA, A. E. and SALVUCCI, M. E. 2012. The temperature response of CO₂ assimilation, photochemical activities and Rubisco activation in *Camelina sativa*, a potential bioenergy crop with limited capacity for acclimation to heat stress. *Planta*; 236(5), 1433- 1445.
- CAVERO, D. 2016. La calidad del huevo en el punto de mira: calidad interna. *Avinews*. <https://avicultura.info/calidad-huevo-en-el-punto-de-mira-calidad-interna/> Consultado el 05/08/2019.
- CHERIAN, G. and 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), 1–8.
- CHERIAN, G.; CAMPBELL, A. and PARKER, T. 2009. Egg quality and lipid composition of eggs from hens fed *Camelina sativa*. *Journal of Applied Poultry Research*; 18(2), 143–150.
- CHOCT, M. 1997. Feed non-starch polysaccharides: chemical structures and nutritional significance. *Feed Milling International*; 13–26.

CHOCT, M.; HUGHES, R.J.; WANG, J.; BEDFORD, M.R.; MORGAN, A.J. and ANNISON, G. 1996. Increased small intestinal fermentation is partly responsible for the anti-nutritive activity of non-starch polysaccharides in chickens. *British Poultry Science*; 37(3):609–621.

CIUCA, N. 2013. Effect of the dietary by-product Camelina meal on performances and carcass quality of TOPIGS pigs. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Animal Science and Biotechnologies*; 70(2):205–213.

COLOMBINI, S.; BRODERICK, G.A.; GALASSO, I.; MARTINELLI, T.; RAPETTI, L.; RUSSO, R. and REGGIANI, R. 2014. Evaluation of *Camelina sativa* (L.) Crantz meal as an alternative protein source in ruminant rations. *Journal of the Science of Food and Agriculture*; 94(4):736–743.

COMISIÓN EUROPEA, 2018. Informe sobre una estrategia europea para la promoción de las proteaginosas: fomentar la producción de proteínas y leguminosas en el sector agrícola europeo. http://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-8-2018-0121_ES.pdf
Consultado el 21/10/2019.

DE JONG, B.H.; MASERA, O. y HERNÁNDEZ-TEJEDA, T. 2004. Opciones de captura de carbono en el sector forestal, en: Cambio climático: una vision desde México. Instituto Nacional de Ecología. México D.F. 369–380.

DOYON, G.; M. BERNIER-CARDOU; R. M. G. HAMILTON; F. EASTAIGNS and RANDALD, C.T. 1986. Egg quality.2. Albumen quality of egg from five commercial strains of White Leghorn hens during one year of lay. *Poultry Science*; 65: 63-66.

EFSA CONTAM, European Food Safety Authority Panel on Contaminants in the Food Chain. 2016. Knutsen, H.K.; Alexander, J.; Barregard, L.; Bignami, M.; Bruschweiler, B.; Ceccatelli, S.; Dinovi, M.; Edler, L.; Grasl-Kraupp, B.; Hogstrand, C., Hoogenboom, L. (Ron); Nebbia, C.S.; Oswald, I.; Petersen, A., Rose, M.; Roudot, A.C.; Schwerdtle, T.; Vollmer, G.; Wallace, H.; Cottrill, B.; Dogliotti, E.; Laakso, J.; Metzler, M.; Velasco, L.; Baert, K.; Ruiz, J.A.G.; Varga, E.; Dorr, B.; Sousa, R. and Vleminckx, C. Scientific Opinion on erucic acid in feed and food. *EFSA Journal* 14(11): 4593, 173 pp.

EHRENSING, D.T. and GUY, S.O. 2008. Camelina. *Oregon State University*. 12(1): 65-77.

EL-DEEK, A.A. and BRIKAA, M.A. 2009. Nutritional and biological evaluation of marine seaweed as a feedstuff and as a pellet binder in poultry diet. *Poultry Science*; 8(9):875–881.

ENGLYST, H.N.; QUIGLEY, M.E. and HUDSON, G.J. 1994. Determination of dietary fibre as non-starch polysaccharides with gas-liquid chromatographic, high-performance liquid chromatographic or spectrophotometric measurement of constituent sugars. *Analyst*; 119: 1497–1509.

FACI, J.M. y MARTÍNEZ-COB, A. 1990. Necesidades de agua de riego de los cultivos en Aragón. *Surcos de Aragón*; 27: 13–23.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2015. El huevo en cifras. <http://www.fao.org/home/es/> Consultado el 10/01/2019.

FEDNA, Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. 2019. Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos (4ª edición). C. de Blas, G.G. Mateos y P. García-Rebollar. Madrid. 603 pp.

FEN, Fundación Española de la Nutrición. 2018. Huevos.
<http://www.fen.org.es/mercadoFen/pdfs/huevos.pdf> Consultado el 31/05/2019.

FRAME, D.D.; PALMER, M. and PETERSON, B. 2007. Use of *Camelina sativa* in the diets of young turkeys. *Poultry Science*; 16:381–386.

HAUGH, R. R. 1937. The Haugh unit for measuring egg quality. *United States egg and poultry magazine*; 43: 522-555, 572-573.

HAUGH, W. and LANTZSCH, H. 1983. Sensitive method for the rapid determination of phytate in cereals and cereal products. *Journal of the Science of Food and Agriculture*; 34: 1423-1426.

IEH, Instituto de Estudios del Huevo. 2009. *El gran libro del huevo*. Editorial Everest. Madrid. 173 pp.

JÓZEFIAK, D.; JÓZEKIAK, A.; KIERONCZYK B.; RAWSKI, M.; SWIATKIEWICZ, S.; DLUGOSZ, J. and ENGBERG, R.M. 2016. Insects, a natural nutrient source for poultry: a review. *Ann. Anim. Sci.* 16(2):297–313

JULIAN, R.J. 2002. El sistema cardiovascular de las aves. *American Association of Avian Pathologists (AAAP)*.

KAHINDI, R.K.; WOYENGO, T.A.; THACKER, P.A. and NYACHOTI, C.M. 2014. Energy and amino acid digestibility of camelina cake fed to growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*; 193:93–101.

KAKANI, R.; FOWLER, J.; HAQ, A.; MURPHY, E.J.; ROSENBERG, T.A.; BERHOW, M. and 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.

KARVONEN, H. M.; ARO, A.; TAPOLA, N.S.; SALMINEN, I.; UUSITUPA, M.I. and SARKKINEN, E.S. 2002. Effect of alpha-linolenic acid-rich *Camelina sativa* oil on serum fatty acid composition and serum lipids in hypercholesterolemic subjects. *Metabolism*; 51:1253–1260.

KIARIE, E.; WALSH, M.C.; HE, L.; VELAYUDHAN, D.E.; YIN, Y.L. and NYACHOTI, C.M. 2016. Phytase improved digestible protein, phosphorous, and energy contents in camelina expellers fed to growing pigs. *Journal of Animal Science*; 94:215–218.

KROMHOUT, D.; GELEINJSE, J.M.; DE GOEDE, J.; OUDE GRIEP, L.M.; MULDER, B.J.; DE BOER, M.J.; DECKERS, J.W.; BOERSMA, E.; ZOCK, P.L. and GILTAY, E.J. 2011. n-3 Fatty acids, ventricular arrhythmia-related events, and fatal myocardial infarction in postmyocardial infarction patients with diabetes. *Diabetes Care*; 34:2515–2520.

LANGE, R.; SCHUMANN, W.; PETRZIKA, M.; BUSCH, H. and MARQUARD, R. 1995. Glucosinolate in Leindottersamen. *European Journal of Lipid Science and Technology*; 97(4):146–152

LICITRA, G.; HERNÁNDEZ, T.M. and VAN SOEST, P.J., 1996. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feed. *Animal Feed Science and Technology*; 57:347–358.

LIU, H.J.; CHANG, B.Y.; YAN, H.W.; YU, F.H. and LIU, X.X. 1995. Determination of amino acids in food and feed by derivatization with 6-aminoquinolyl-N-hydroxysuccinimidyl carbamate and reverse-phase liquid chromatographic separation. *Journal of AOAC International*; 78: 736-744.

MASERA, O. R.; ORDÓÑEZ, M.J. and DIRZO, R. 1997. Carbon emissions from Mexican Forests: Current Situation and Long-term Scenarios. *Climatic Change* 35: 265-295.

MERTENS, D.R. 2002. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: collaborative study. *AOAC International*, 85(6):1217–1240.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN. 2019. El sector de la avicultura de puesta en cifras: principales indicadores económicos. https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/indicadorespuesta2018parapublicar_tcm30-381335.pdf Consultado el 16/11/2019.

MUSHTAQ, T.; SARWAR, M.; AHMAD, G.; MIRZA, M.; NAWAZ, H.; MUSHTAQ, M.H. and NOREEN, U. 2007. Influence of canola meal-based diets supplemented with exogenous enzyme and digestible lysine on performance digestibility carcass and immunity responses of broiler chickens. *Poultry Science*; 86:2144–2151.

NAIN, S.; ORYSCHAK, M.A.; BETTI, M. and BELTRANENA, E. 2015. *Camelina sativa* cake for broilers: Effects of increasing dietary inclusion from 0 to 24% on tissue fatty acid proportions at 14, 28, and 42 d of age. *Poultry Science*; 94:1247–1258.

NEURINGER, M.; ANDERSON, G.J. and CONNER, W.E. 1988. The essentiality of ω -3 fatty acids for the development and function of the retina and brain. *Annual Review of Nutrition*. 8:517–541.

OCHI, E. and TSUCHIYA, Y. 2018. Eicosapentaenoic Acid (EPA) and Docosahexaenoic Acid (DHA) in muscle damage and function. *Nutrients*; 10(5):552.

O'FALLON, J.V.; BUSBOOM, J.R.; NELSON, M.L. and GASKINS, C.T. 2007. A direct method for fatty acid methyl ester synthesis: Application to wet meat tissues, oils, and feedstuffs. *Journal of Animal Science*; 85: 1511-1521.

PEIRETTI, P.G.; MUSSA, P.P.; PROLA, L. and MEINERI, G. 2007. Use of different levels of false flax (*Camelina sativa* L.) seed in diets for fattening rabbits. *Livestock Science*; 107(2-3):192–198.

PENG, Q.; KHAN, N.A.; WANG, Z. and YU, P. 2014. Moist and dry heating-induced changes in protein molecular structure, protein subfractions, and nutrient profiles in camelina seeds. *Journal of Dairy Science*; 97:446–457.

PEÑAGARICANO, E. 2018. Evaluación de la digestibilidad de la proteína y aminoácidos de la harina y torta de *Camelina sativa* en gallinas ponedoras. Trabajo Final de Máster en Producción Animal. *Universitat Politècnica de València*. 38 pp.

PEKEL, A.Y.; HORN, N.L. and ADEOLA, O. 2017. The efficacy of dietary xylanase and phytase in broiler chickens fed expeller-extracted camelina meal. *Poultry Science*; 96:98–107.

- PEKEL, A.Y.; KIM, J.I.; CHAPPLE, C. and ADEOLA, O. 2015. Nutritional characteristics of camelina meal for 3-week-old broiler chickens. *Poultry Science*; 94: 371–378
- PEKEL, A.Y.; PATTERSON, P.H.; HULET, R.M.; ACAR, N.; CRAVENER, T.L.; DOWLER, D.B. and HUNTER, J.M. 2009. Dietary camelina meal versus flaxseed with and without supplemental copper for broiler chickens: Live performance and processing yield. *Poultry Science*; 88:2392–2398.
- PERAZZO COSTA, F.G.; DE LIMA, M.R.; CECCANTINI, M.L.; NETO, R.M.; GOULART, C.; DE OLIVEIRA, C.F.; GONÇALVES VIEIRA, D.V. and SANTOS, C.S. 2015. Exogenous enzyme complexes and linoleic acid to laying hens. *The Journal of Applied Poultry Research*; 24(1) 30–36.
- PILGERAM, A.L.; SANDS, D.C.; BOSS, D.; DALE, N.; WICHMAN, D.; LAMB, P.; CHAOFU, L.; BARROWS, R.; KIRKPATRICK, M.; THOMPSON B. and JOHNSON, D.L. 2007. *Camelina sativa*, a Montana omega-3 and Fuel Crop. Reprinted from: Issues in new crops and new uses. J. Janick and A. Whipkey (eds.). ASHS Press, Alexandria, VA.
- PRZBYLSKI, R. 2005. Flax oil and high linolenic oils. *Bailey's industrial oil and fat products*.
- RIBAYA-MERCADO, J.D. and BLUMBERG, J.B. 2004. Lutein and zeaxanthin and their potential roles in disease prevention. *Journal of the American College of Nutrition*; 23:567–587.
- ROBERTS, J.R. 2004. Factors affecting egg internal quality and egg shell quality in laying hens. *Journal of Poultry Science*; 41:161–177.
- RUSSO, R.; GALASSO, I. and REGGIANI, R. 2014. Variability in glucosinolate content among *Camelina* species. *American Journal of Plant Sciences*, 5:294–298.
- RUSSO, R. and REGGIANI, R. 2017. Glucosinolates and Sinapine in Camelina Meal. *Food and Nutrition Sciences*; 8:1063–1073.
- RYHÄNEN, E.; PERTTILÄ, S.; TUPASELA, T.; VALAJA, J.; ERIKSSON, C. and 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.
- SALIH, M.E.; CLASSEN, H.L. and CAMPBELL, G.L. 1991. Response of chickens fed on hull-less barley to dietary beta-glucanase at different ages. *Animal Feed Science and Technology*; 33(1–2):139–149.
- SAS. 2004. Institute. SAS User's Guide. Statistics, Version 9. 22004 ed. Cary (NC): SAS Institute Inc.
- SAVÓN, L. 2002. Alimentos altos en fibra para especies monogástricas. Caracterización de la matriz fibrosa y sus efectos en la fisiología digestiva. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*; 36(2):91–102.
- SHI, S.R.; LU, J.; TONG, H.B.; ZOU, J.M. and WANG, K.H. 2012. Effects of graded replacement of soybean meal by sunflower seed meal in laying hen diets on hen performance, egg quality, egg fatty acid composition, and cholesterol content. *The Journal of Applied Poultry Research*; 21(2):367–374.

- SILJANDER-RASI, H.; VALAJA, J.; ALAVIUHKOLA, T.; RANTAMÄKI, P. and TUPASELA, T. 1996. Replacing soya bean meal with heat-treated, low-glucosinola rapeseed meal does not affect the performance of the growing-finishing pigs. *Animal Feed Science and Technology*; 60:1–2.
- SILVEIRA, J.M. y DURÁN, J.M. 1998. La soja: un cultivo poco conocido en España. *Vida rural*; 75:28–33.
- SLOMINSKI, B.A. 2011. Recent advances in research on enzymes for poultry diets. *Poultry Science*; 90:2013–2023.
- SWANSON, D.; BLOCK, R. and MOUSA, S.A. 2012. Omega-3 fatty acids EPA and DHA: health benefits throughout life. *Advances in Nutrition*; 3(1):1–7.
- THACKER, P. and WIDYARATNE, G. 2012. Effects of expeller pressed camelina meal and/or canola meal on digestibility, performance and fatty acid composition of broiler chickens fed wheat-soybean meal-based diets. *Archives of Animal Nutrition*. 66(5):402–415.
- TRIPATHI, M.K. and MISHRA, A.H. 2007. Glucosinolates in animal nutrition: a review. *Animal Feed Science and Technology*; 132(1-2):1–27.
- VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B. and LEWIS, B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*; 74:3583–3597.
- WattAgNet. 2015. La producción mundial de huevos: situación actual y previsiones. *Selecciones Avícolas*.
<https://seleccionesavicolas.com/avicultura/2016/01/la-produccion-mundial-de-huevos-situacion-actual-y-previsiones> Consultado el 15/04/2019.
- WILKINSON, J.M. 2011. Re-defining efficiency of feed use by livestock. *Animal*; 5(7):1014–1022.
- WOYENGO, T.A.; BELTRANENA, E. and ZIJLSTRA, R.T. 2017. Effect of anti-nutritional factors of oilseed co-products on feed intake of pigs and poultry. *Animal Feed Science and Technology*; 233:76–86.
- WOYENGO, T.A.; PATTERSON, R. and LEVESQUE, C.L. 2018. Nutritive value of multienzyme supplemented cold-pressed camelina cake for pigs. *Journal of Animal Science*; 96(3):1119–1129.
- WOYENGO, T.A.; PATTERSON, R.; SLOMINSKI, B.A.; BELTRANENA, E. and ZIJLSTRA, R.T. 2016. Nutritive value of cold-pressed camelina cake with or without supplementation of multi-enzyme in broiler chickens. *Poultry Science*; 95:2314–2321.
- YASHODHARA, B. M.; UMAKANTH, S.; PAPPACHAN, J.M.; BHAT, S.K.; KAMATH, R. and CHOO, B. 2009. Omega-3 fatty acids: A comprehensive review of their role in health and disease. *Postgraduate Medical Journal*; 85:84–90.
- YEMM, E.W. and WILLIS, A.J. 1954. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. *The Biochemical journal*; 57(3), 508–514.
- ZUBR, J. 1997. Oil-seed crop: *Camelina sativa*. *Industrial Crops and Products*; 6(2): 113–119.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado gracias al Proyecto “Estudio agronómico, tipificación nutricional y valorización de los productos y subproductos de camelina sativa para su utilización en nutrición animal (RTC-2015-3265-5)” financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad en el marco del Programa Retos-Colaboración.