



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

MÁSTER EN PRODUCCIÓN ANIMAL

Evaluación de la digestibilidad de la proteína y aminoácidos de la harina y torta de Camelina sativa en gallinas ponedoras

Trabajo Fin de Máster

Valencia, Setiembre 2018

Elena Peñagaricano Sosa

Directoras

María Cambra López

Alba Cerisuelo García

RESUMEN

Los subproductos provenientes del cultivo y extracción del aceite de *Camelina sativa* (harina y torta de camelina) son potenciales fuentes de proteína en alimentación animal. Los objetivos de este trabajo fueron determinar la digestibilidad ileal estandarizada (CDIs) de la proteína (PB) y aminoácidos (AA) de la harina y torta de camelina en gallinas ponedoras. Un total de 160 gallinas de la raza Lohmann Brown-classic de 38 semanas de vida se organizaron en 40 jaulas con 4 animales cada una que se repartieron, de manera homogénea, en un total de 5 tratamientos (8 jaulas por tratamiento). Los tratamientos consistieron en un pienso control (C), que contenía un 20% de almidón de maíz, dos tratamientos con inclusión de 10% y 20% de harina de camelina (H10 y H20), y dos tratamientos con 10% y 20% de inclusión de torta de camelina (T10 y T20). En los piensos con camelina ésta se añadió en sustitución 1:1 del almidón de maíz de pienso C por lo que las diferencias en concentración de AA de los piensos resultaron únicamente de la inclusión de harina o torta de camelina. El periodo experimental tuvo una duración de 8 días; tras 7 días de adaptación los animales se sacrificaron para obtener el contenido del íleon terminal. Los animales se pesaron 9 días antes del comienzo de la prueba (periodo pre-experimental), al comienzo de la prueba y el día del sacrificio. Además, tanto durante el periodo pre-experimental como durante el periodo experimental se controló el consumo medio diario de pienso (CMD) y la producción diaria de los huevos y se calculó el peso promedio del huevo, el porcentaje de puesta, la masa del huevo y el índice de transformación del alimento en masa de huevo (IT). Se determinó la composición química de la harina y torta de camelina utilizadas en el estudio (materia seca (MS), cenizas, PB, extracto etéreo (EE), energía bruta, fibra, AA, factores antinutricionales (FAN) y perfil de polisacáridos no amiláceos). Además, se determinó el contenido en MS, PB, AA y dióxido de titanio (TiO₂) en los piensos experimentales y en el contenido ileal para el cálculo de los coeficientes de digestibilidad de la PB y AA. Tras el cálculo del coeficiente de digestibilidad ileal aparente (CDIa) de la PB y AA de las dietas se determinó el coeficiente de digestibilidad ileal estandarizado (CDIs) para la PB y los diferentes AA de la harina y la torta de camelina mediante regresión lineal. La harina y torta de camelina utilizadas en este estudio presentaron un contenido en PB de 43,4 y 38,5% y en EE de 3,36 y 11,06% en base seca, respectivamente. Ambas presentaron una elevada proporción de fibra (>30%FND) en comparación con otras materias primas. Con respecto a los FAN analizados, el contenido en glucosinolatos y ácido erúxico de la harina y torta de camelina fue bajo (11,3 y 1138 ppm para los glucosinolatos y 0,66 y 0,41% para el ácido erúxico). En cuanto al CMD de pienso los tratamientos H20 y T20 mostraron un menor

($P < 0,05$) consumo que los tratamientos C, H10 y T10, reduciéndose estas diferencias de consumo durante las 24 horas previas al sacrificio. Estas diferencias en consumo durante la prueba dieron lugar a una ligera reducción del peso al sacrificio en estos tratamientos. Los valores de producción de huevo no difirieron en ningún momento entre tratamientos. Esto se tradujo en un IT significativamente inferior en los tratamientos H20 y T20 en comparación con C, H10 y T10. El CD_{Ia} de la PB y AA en las dietas experimentales se redujo con la inclusión de harina y torta de camelina. Los valores de CD_{Ia} para la PB se situaron en torno a 79 y 88%, siendo inferiores ($P < 0,05$) los calculados en los piensos H20 y T20 respecto a C. Para los AA los valores de CD_a se situaron en torno a 54,5 y 83%. En general, las ecuaciones de regresión obtenidas para el cálculo del CD_Is de la PB y AA en la torta y harina de camelina mostraron ajustes (R^2) aceptables con valores entre 0,97 a 0,82 para el caso de la harina y de 0,95 a 0,65 para el caso de la torta. El CD_Is de la PB de la harina y torta de camelina calculada por regresión presentó un valor medio de 59, no existiendo diferencias significativas entre ambas materias primas. Los valores de CD_Is para los diferentes AA fueron, en general, similares entre ambas materias primas, excepto en el caso de la serina que presentó valores superiores en harina respecto a torta (70,2 frente a 55,3% para la serina)). En general, los AA que presentaron el mayor y menor valor de CD_Is fueron el ácido glutámico (83,2% para la harina y 82,6% para la torta) y la alanina (56,8% para la harina y de 53,9% para la torta), respectivamente. Entre los esenciales, el AA que presentó mayor CD_Is fue la metionina (78,4% en el caso de la harina, y 77,3% en el caso de la torta). La lisina, otro AA esencial relevante en gallinas, presentó valores de CD_Is ligeramente inferiores a los de la metionina (76,6% para la harina y de 72,2% para la torta). En conclusión, es posible incluir harina y torta de camelina como fuente de proteína en piensos de gallinas ponedoras ya que muestra valores del PB y AA digestibles elevados y comparables a otras materias primas como la harina de colza. Sin embargo, su inclusión en las dietas puede producir una reducción del consumo de pienso y es necesario determinar el límite máximo de su inclusión en piensos.

SUMMARY

Byproducts from the crop and extraction of *Camelina sativa* oil (camelina meal and cake) are potential sources of protein in animal feeds. The objectives of this work were to determine the standardized ileal digestibility (CDIs) of protein (PB) and amino acids (AA) of camelina meal and cake in laying hens. A total of 160 Lohmann Brown-classic hens of 38 weeks old were organized in 40 cages with 4 animals each that were distributed, in a homogeneous way, in a total of 5 treatments (8 cages per treatment). The treatments consisted of a control feed (C), which contained 20% of corn starch, two treatments including 10% and 20% camelina meal (H10 and H20), and two treatments with 10% and 20% of inclusion of camelina cake (T10 and T20). Camelina was added in feeds in substitution 1: 1 of corn starch from feed C, so that differences in AA concentration of the feed resulted only from the inclusion of camelina. The experimental period lasted 8 days; after 7 days of adaptation the animals were sacrificed to obtain the content of the terminal ileum. The animals were weighed 9 days before the start of the trial (pre-experimental period), at the beginning of the trial and on the day of sacrifice. In addition, the average daily feed intake (CMD) and the daily production of the eggs were controlled during the pre-experimental the experimental periods and the average egg weight, laying percentage, egg mass and the feed conversion ratio into egg mass (IT) were calculated. The chemical composition of the camelina meal and cake used in the study (dry matter (MS), ash, PB, ether extract (EE), gross energy, fiber, AA, antinutritional factors (FAN) and non-starch polysaccharide profile were determined). In addition, the MS, PB, AA and titanium dioxide (TiO₂) content in the experimental feeds and the ileal content were determined for the calculation of the digestibility coefficients of PB and AA. After calculating the apparent ileal digestibility coefficient (CDI_a) of PB and AA of the diets, the standardized ileal digestibility coefficient (CDIs) was calculated for PB and the different AA of camelina meal and cake by linear regression. The camelina meal and cake used in this study had a PB content of 43.4 and 38.5% and an EE content of 3.36 and 11.06% in dry matter basis, respectively. Both had a high proportion of fiber (> 30% FND) compared to other raw materials. With respect to the analyzed FAN, the glucosinolate and erucic acid content of the camelina meal and cake was low (11.3 and 1138 ppm for glucosinolates and 0.66 and 0.41% for erucic acid). In terms of CMD, the H20 and T20 treatments showed a lower ($P<0.05$) feed intake than C, H10 and T10 treatments, being these differences minimized during the 24 hours prior to slaughter. These differences in consumption during the trial resulted in a slight reduction in slaughter weight in these treatments. Egg production values did not differ between treatments at any time. This resulted in a significantly lower ($P<0.05$) IT in the H20 and

T20 treatments compared to C, H10 and T10. The CDIs of the PB and AA in the experimental diets was reduced with the inclusion of camelina meal and cake. The values CDIs for the PB were around 79 and 88%, being lower the calculated in the feeds H20 and T20 with respect to C. The values of CDIs for the AA were around 54.5 and 83%. In general, the regression equations obtained for the calculation of the CDIs of PB and AA in cake and camelina meal showed acceptable adjustments (R^2) with values between 0.97 to 0.82 for the case of the meal and from 0.95 to 0.65 for the case of the cake. The CDIs of the PB of meal and cake of camelina calculated by regression presented an average value of 59, there being no significant differences between both raw materials. The values of CDIs for the different AAs are, in general, similar between both raw materials, except in the case of serine, for which the meal showed higher values than the cake, 70.2 versus 55.3% for the serine. In general, the AA that showed the highest and lowest value of CDIs were glutamic acid (83.2% for flour and 82.6% for cake) and alanine (56.8% for meal and 53.9% for the cake), respectively. Among the essentials, the AA that presents the highest CDIs was methionine (78.4% in the case of meal, and 77.3% in the case of cake). Lysine, another relevant essential AA in hens, showed CDIs values slightly lower than those of methionine (76.6% for flour and 72.2% for cake). In conclusion, it is possible to include camelina meal and cake as a source of protein in laying hen feeds since it shows high digestible PB and AA values, comparable to other raw materials such as rapeseed meal. However, their inclusion in diets can lead to a reduction in feed intake and it is necessary to determine the maximum limit of their inclusion in feeds.

RESUM

Els subproductes provinents del cultiu i extracció de l'oli de *Camelina sativa* (farina i tortó de camelina) són potencials fonts de proteïna en alimentació animal. Els objectius d'aquest treball van ser determinar la digestibilitat ileal estandarditzada (CDIs) de la proteïna (PB) i aminoàcids (AA) de la farina i tortó de camelina en gallines ponedores. Un total de 160 gallines Lohmann Brown-classic de 38 setmanes de vida es van organitzar en 40 gàbies amb 4 animals cadascuna que es van repartir, de manera homogènia, en un total de 5 tractaments (8 gàbies per tractament). Els tractaments van consistir en un pinso control (C), que contenia un 20% de midó de dacsa, dos tractaments amb inclusió de 10% i 20% de farina de camelina (H10 i H20), i dos tractaments amb 10% i 20% d'inclusió de tortó de camelina (T10 i T20). En els pinsos amb camelina aquesta es va afegir en substitució 1:1 del midó de dacsa de pinso C pel que les diferències en concentració de AA dels pinsos van resultar únicament de la inclusió de farina o coca de camelina. El període experimental va tindre una durada de 8 dies; després de 7 dies d'adaptació els animals es van sacrificar per a obtenir el contingut de l'ili terminal. Els animals es van pesar 9 dies abans del començament de la prova (període pre-experimental), al començament de la prova i el dia del sacrifici. A més, durant el període pre-experimental i el període experimental es va controlar el consum mig diari de pinso (CMD) i la producció diària d'ous i es va calcular el pes mig de l'ou, el percentatge de posta, la massa de l'ou i l'índex de transformació de l'aliment en massa d'ou (IT). Es va determinar la composició química de la farina i tortó de camelina utilitzades en l'estudi (matèria seca (MS), cendres, PB, extracte eteri (EE), energia bruta, fibra, AA, factors antinutricionals (FAN) i perfil de polisacàrids no amilacis). A més, es va determinar el contingut en MS, PB, AA i diòxid de titani (TiO₂) en els pinsos experimentals i el contingut ileal per al càlcul dels coeficients de digestibilitat de la PB i AA. Després del càlcul del coeficient de digestibilitat ileal aparent (CDIa) de la PB i AA de les dietes es va calcular el coeficient de digestibilitat ileal estandarditzada (CDIs) per a la PB i els diferents AA de la farina i la tortó de camelina mitjançant regressió lineal. La farina i tortó de camelina utilitzades en aquest estudi van presentar un contingut en PB de 43,4 i 38,5% i en EE de 3,36 i 11,06% en base seca, respectivament. Ambdues van presentar un elevada proporció de fibra (>30% FND) en comparació amb altres matèries primeres. Respecte als FAN analitzats, el contingut en glucosinolats i àcid erúic de la farina i tortó de camelina va ser baixos (11,3 i 1138 ppm per als glucosinolats i 0,66 i 0,41% per a l'àcid erúic). Pel que fa al CMD de pinso els tractaments H20 i T20 van mostrar un menor ($P < 0.05$) consum que els tractaments C, H10 i T10, reduint-se aquestes diferències de consum durant les 24 hores prèvies al

sacrifici. Aquestes diferències en consum durant la prova van donar lloc a una lleugera reducció del pes al sacrifici en aquests tractaments. Els valors de producció d'ou no van diferir en cap moment entre tractaments. Això es va traduir en un IT significativament inferior en els tractaments H20 i T20 en comparació amb C, H10 i T10. El CD_{Ia} de la PB i AA en les dietes experimentals es va reduir amb la inclusió de farina i tortó de camelina. Els valors de CD_{Ia} per a la PB es van situar al voltant de 79 i 88%, sent inferiors als calculats en els pinsos H20 i T20 respecte al C. Per als AA, els valors de CD_Is es van situar al voltant de 54,5 i 83%. En general, les equacions de regressió obtingudes per al càlcul del CD_Is de la PB i AA en el tortó i farina de camelina van mostrar ajustos (R²) acceptables amb valors entre 0,97 a 0,82 per al cas de la farina i de 0,95 a 0,65 per al cas del tortó. El CD_Is de la PB de la farina i el tortó de camelina calculada per regressió va presentar un valor mitjà de 59, no existint diferències significatives entre ambdues matèries primeres. Els valors de CD_Is per als diferents AA van ser, en general, similars entre ambdues matèries primeres, excepte en el cas de la serina, que presenta valors superiors en farina respecte al tortó (70,2 front a 55,3% per a la serina). En general, els AA que van presentar el major i menor valor de CD_Is van ser l'àcid glutàmic (83,2% per a la farina i 82,6% per a la coca) i l'alanina (56,8% per a la farina i de 53,9% per al tortó), respectivament. Entre els essencials, el AA que presentà major CD_Is va ser la metionina (78,4% en el cas de la farina, i 77,3% en el cas del tortó). La lisina, un altre AA essencial rellevant en gallines, va presentar valors de CD_Is lleugerament inferiors als de la metionina (76,6% per a la farina i de 72,2% per al tortó). En conclusió, és possible incloure farina i tortó de camelina com a font de proteïna en pinsos de gallines ponedores ja que mostra valors del PB i AA digestibles elevats i comparables a altres matèries primeres com la farina de colza. No obstant, la seua inclusió en les dietes pot produir una reducció del consum de pinso i és necessari determinar el límit màxim de la seua inclusió en pinsos.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Importancia actual de la producción de huevos	1
1.2 Manejo de la alimentación en gallinas ponedoras: hacia una alimentación más sostenible	2
1.2.1. Necesidades de energía y nutrientes en gallinas ponedoras	3
1.2.2 Materias primas en piensos de gallinas ponedoras: fuentes alternativas de proteína bruta	7
2 JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS	16
3 MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1 Animales, alojamiento, diseño experimental y alimentación	17
3.2 Medidas realizadas	23
3.2.1 Rendimiento productivo	23
3.2.2 Digestibilidad íleal aparente	23
3.3 Análisis de laboratorio	24
3.4 Cálculos y análisis estadístico	25
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
4.1 Materias primas y piensos	27
4.2 Rendimiento productivo	29
4.3 Coeficientes de digestibilidad de los piensos y los subproductos de camelina	33
5 CONCLUSIONES	38
6 BIBLIOGRAFÍA	39

Índice de tablas

Tabla 1, Necesidades en energía metabolizable corregido por nitrógeno (EMA) para gallinas ponedoras.....	3
Tabla 2, Necesidades de proteína bruta (PB) y aminoácidos esenciales en gallinas ponedoras rubias en jaula (%) por periodos.....	5
Tabla 3, Perfil de proteína ideal según varios autores.....	6
Tabla 4, Necesidades de Ca y P (%) para gallinas ponedoras rubias en jaula según edad.	7
Tabla 5, Clasificación de los subproductos agroindustriales	9
Tabla 6, Comparación nutricional (Energía metabolizable (EMA), Proteína bruta (PB), Extracto etéreo (EE), Fibra neutro detergente (FND), Fibra ácido detergente (FAD), Lignina ácido detergente (LAD) entre subproductos proteicos en base seca.	11
Tabla 7, Comparación química de la harina y la torta de camelina incluidas en las dietas experimentales (en base seca).....	20
Tabla 8, Composición en ingredientes (%) de los piensos experimentales (MS).....	21
Tabla 9, Nutrientes calculados y analizados en los piensos experimentales (MS)	22
Tabla 10, Rendimiento productivo de los animales durante el periodo pre-experimental (9 días) y el periodo experimental (7 días)	30
Tabla 11, Coeficiente de digestibilidad ileal de la proteína bruta (PB) y aminoácidos (AA) en dietas con diferentes concentraciones de harina y torta de camelina.....	33
Tabla 12, Digestibilidad ileal estandarizada y cantidad de proteína bruta (PB) y aminoácidos digestibles (% en materia seca) a en íleon terminal de la harina y torta de camelina utilizando el método de regresión	37

Índice de figuras

Figura 1, Planta de Camelina sativa. Fuente: el cultivo de la camelina en Aragón (2013).....	13
Figura 2, subproductos de la Camelina sativa. Fuente: Camelina solutions.....	14
Figura 3, alojamiento de los animales durante la prueba.	18
Figura 4, distribución de los tratamientos dentro de las baterías.....	19
Figura 5, Ubicación de la porción de íleon a utilizar (1), vaciado del íleon en placa Petri (2 y 3)	24

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Importancia actual de la producción de huevos

El huevo es un producto básico que forma parte de la alimentación humana en todo el mundo. Según la FAO (2016), un huevo de 63 g aproximadamente aporta parte de las necesidades dietarias diarias de un adulto en selenio (27%), vitamina B12 (25%), colina (23%), riboflavina (15%), proteínas (13%), fósforo (11%), vitamina D (9%). Además, el huevo como alimento aporta una moderada cantidad de calorías y un perfil lipídico mayoritariamente insaturado, presentando ácidos grasos esenciales omega 3 y omega 6 como el ácido linoleico, con efectos saludable para el sistema cardiovascular (FAO, 2016). De acuerdo con los datos proporcionados por la FAO, la producción mundial de huevos en el año 2016 fue de 72 millones de toneladas, FAO (2016). A nivel global, Asia es el continente que más aporta a la producción mundial, seguido por América y Europa. A nivel de Europa, en 2016 se produjeron alrededor de 7,7 millones de toneladas de huevos (Comisión Europea, 2018). España es el tercer mayor productor de huevos en la UE, tras Alemania y Francia con un censo de un 11% de las ponedoras comunitarias, (INPROVO,2018). En España, con una producción de 1.125 millones de docenas de huevos al año, (INPROVO 2018), el sector avícola de puesta representa el 2,12% de la Producción Final Agraria y el 6,1% de la Producción Final Ganadera, según el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, MAPA (2016). Según el censo nacional del Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y medio ambiente, en 2016 en España existían un total de 1.291 explotaciones ganaderas dedicadas a la producción de huevos de ponedoras y el número de gallinas ponedoras en el mismo año ascendía a los 48 millones de animales. Esta producción se encuentra repartida por todo el territorio español. Castilla La Mancha y Castilla León destacan como principales regiones productoras en 2016, con un 25,2% y un 11,2% de la producción española, respectivamente. A estas comunidades les siguen Aragón, Cataluña y la Comunidad Valenciana. El 88% de las gallinas en España se encuentran alojadas en jaulas enriquecidas según lo dispuesto en el RD 3/2002 (ASEPRHU, 2018).

Esta elevada producción de huevos responde a una elevada demanda a nivel mundial, ya que el huevo es un producto que se consume de diferentes formas, integrándose perfectamente en cualquier receta tradicional o dieta. No es un alimento tabú en ninguna cultura o religión y se produce de forma fácil, lo que lo hace ampliamente extendido y aceptado a lo largo del mundo. Las gallinas ponedoras son la

especie de la cual proviene la mayor parte de los huevos de consumo humano (FAO, 2015). Según el último informe del MAPAMA (2017) en 2016 el consumo per cápita de huevos era de 16 kg, unos 254 huevos por persona por año en España.

Según la Asociación española de productores de huevos, el pronóstico para los próximos 20 años indica que el huevo serán uno de los alimentos de origen animal con un mayor incremento en la demanda mundial, impulsado principalmente por el aumento de la población (FAO, 2009). Es fundamental, por tanto, seguir mejorando día a día en las técnicas de producción, alojamiento, genética y alimentación de gallinas ponedoras para poder producir mayor cantidad de huevos y que esta producción se realice de manera sostenible, no solo para los productores (sostenibilidad económica), sino también para el medio ambiente (sostenibilidad ambiental) y poder garantizar así el futuro del sector. Igualmente, el desarrollo de una producción más sostenible toma cada vez más importancia para el consumidor que, desde su lugar, exige cada vez más productos que no solo contemplen normas en cuanto al bienestar animal, sino también respeten el medio ambiente. En este contexto, tal y como veremos en las próximas líneas, el manejo de la alimentación es fundamental para asegurar la rentabilidad y sostenibilidad del sector avícola de puesta.

1.2 Manejo de la alimentación en gallinas ponedoras: hacia una alimentación más sostenible

Realizar un buen manejo de la alimentación resulta esencial en explotaciones ganaderas para asegurar la sostenibilidad económica, social y ambiental de la producción. Por un lado, la alimentación en explotaciones ganaderas constituye entre un 60 y un 80% de los costes de producción, por lo que su control es clave para asegurar la rentabilidad económica de la actividad ganadera (Makkar, 2016). Además, la alimentación influye en los rendimientos productivos y salud de los animales, que están directamente relacionados con la rentabilidad económica de las explotaciones.

Por otro lado, la alimentación de los animales está vinculada a la seguridad alimentaria de los productos animales (OIE, 2017), por lo que asegurar la calidad higiénica de los piensos y una composición segura en cuanto a ingredientes resulta de gran importancia a nivel social. Finalmente, la relación entre la alimentación animal y la sostenibilidad ambiental de las explotaciones es clara. Diversos factores como son el ajuste de los aportes de nutrientes a las necesidades o la elección de las materias primas para fabricar los piensos se encuentran estrechamente relacionados con el impacto ambiental de la ganadería. En este sentido, un desajuste entre las necesidades de los animales y el aporte de nutrientes puede dar lugar a una mayor

eliminación de nutrientes al medio y un aumento de la contaminación ambiental asociada a la ganadería (Powers y Angel, 2018). Por otro lado, el uso de materias primas nobles que compiten con la alimentación humana (como cereales y soja) o que no se producen en nuestro país (como la soja) pueden aumentar la huella ambiental de los productos animales, en especial en producción intensiva de monogástricos como las aves, que son más dependientes de este tipo de materias primas (Nijdam et al., 2012; Skunca et al., 2018). Por ello, para poder producir productos animales como los huevos de manera sostenible es necesario formular piensos acordes con las necesidades de las gallinas ponedoras y explorar materias primas alternativas a los cereales y la soja en su alimentación.

1.2.1. Necesidades de energía y nutrientes en gallinas ponedoras

A continuación, se definirán las necesidades en energía y nutrientes como la proteína (PB), aminoácidos (AA) y minerales para gallinas ponedoras, de acuerdo con diversas fuentes (NRC, National Research Council) y (FEDNA, Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal).

Según fuentes oficiales como NRC (1994) y las normas FEDNA (2008) para aves, las necesidades de **energía metabolizable** en gallinas ponedoras dependen de su edad y estado de producción y se expresan kcal de energía metabolizable aparente (EMAn). En ocasiones, los valores se presentan corregidos por nitrógeno (N), para lo cual se calcula la cantidad de N retenido como proteína tisular o excretado como ácido úrico, y se añade o sustrae 8,22 kcal por g de N excretado o retenido respectivamente. Según el método factorial, estas necesidades son el resultado del sumatorio de las necesidades de mantenimiento y producción de huevo y pueden variar también según la temperatura ambiente y las condiciones de alojamiento de las aves. En general, las necesidades de energía en gallinas ponedoras rubias en jaula varían entre 2.780 kcal/kg para animales de 17 semanas de edad hasta el inicio de la puesta y 2.730 kcal/kg para gallinas de más de 45 semanas de edad y final de puesta (Tabla 1).

Tabla 1, Necesidades en energía metabolizable aparente corregida por nitrógeno (EMA) para gallinas ponedoras

	Prepuesta	Inicio puesta	Final puesta
semanas	17-inicio	<45	>45
EMAn (Kcal/kg)	2.780	>2.750	2,730

Fuentes: FEDNA (2008), INTA (2010)

La reducción de las necesidades en energía con la edad responde a una reducción del ritmo de crecimiento y del porcentaje de puesta con la edad, situándose el pico de puesta entre las 25-40 semanas de edad

Las gallinas de puesta, como la mayoría de las aves son capaces de adaptar la ingestión de alimento a la concentración de energía de los piensos para satisfacer sus necesidades energéticas. En este sentido, diversos trabajos indican que un aumento en el contenido energético de los piensos puede reducir el consumo de éste (Hill et al., 1956; Pérez-Bonilla et al., 2012). Según Bouvael et al. (2010) en una revisión de los experimentos realizados con gallinas ponedoras en los últimos 20 años, indica que, un aumento de un 10% de la concentración de EMA en los piensos puede dar lugar a una reducción de un 5,5% en el consumo. Por lo tanto, es importante tener en cuenta esta relación para ajustar el resto de los nutrientes al consumo previsto y evitar desajustes nutricionales.

En cuanto a las necesidades de **proteína (PB) y AA** en gallinas ponedoras, al igual que en el resto de las aves, no precisan proteína como tal, sino AA esenciales, siempre y cuando la cantidad de N o PB satisfaga las necesidades de AA no esenciales. Los AA esenciales son aquellos que no pueden ser sintetizados por el animal y deben ser aportados en la dieta. En el caso de las aves estos AA son: arginina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, valina (NRC, 1994; FEDNA, 2008). De ellos, la lisina, metionina, treonina, valina, arginina, triptófano e isoleucina están ya disponibles a nivel sintético para poder ser utilizados en piensos de animales. El AA más limitante en aves se considera que es la metionina (FEDNA, 2008; FAO, 2016). Siguiendo el patrón del barril de Liebig, una vez cubiertas las necesidades de este AA el siguiente AA en importancia se convierte en limitante y así sucesivamente. El resto de AA se denominan AA no esenciales y en el caso de las aves son: alanina, ácido aspártico, cisteína, ácido glutámico, glicina, prolina, serina, tirosina (NRC, 1994; FEDNA, 2008). Estos últimos pueden ser sintetizados por las aves con el aporte necesario de N. En la Tabla 2 se muestra las necesidades en PB y AA en gallinas ponedoras según las recomendaciones FEDNA (2008). En aves, los niveles de PB inferiores a 16%, tienden a reducir la cantidad de huevos XL, debido a deficiencias en un quinto AA limitante (el cual es difícil de establecer, ya que depende de los ingredientes utilizados), por lo que sí es recomendable exigir en los piensos un mínimo de PB, (FEDNA, 2008). Por otro lado, niveles excesivos de esta, garantizan que se cubran los niveles de aminoácidos esenciales, pero a su vez provocan una desaminación excesiva en el animal y la eliminación del N sobrante por orina generando un aumento de huevos sucios y un aumento del contenido en NH₃ de las

deyecciones y de las emisiones de NH₃ asociadas, aumentando con ello la contaminación ambiental (Latshaw y Zhao, 2004; Nahm et.al 2007).

Por lo tanto, el nivel mínimo de PB en piensos será establecido dependiendo de la cantidad de AA sintéticos disponibles y tratando de cubrir las necesidades de AA sin exceder el N necesario, para controlar la contaminación ambiental. En cuanto a las unidades de expresión de las necesidades de AA, estas se suelen presentar o bien como AA totales o como AA digeribles a nivel de íleon y dentro de digeribles como digeribles aparentes o estandarizados. El concepto de aparente o estandarizado se refiere a la posibilidad de haber tenido en cuenta o no en el cálculo de la digeribilidad de sus pérdidas endógenas, (FEDNA, 2008; Sauvant 2004). Los valores de AA digeribles estandarizados son preferibles a los AA totales e incluso a los valores de AA digeribles aparentes por su mayor precisión, aunque para algunas materias primas la información disponible en gallinas ponedoras es todavía escasa

Tabla 2, Necesidades de proteína bruta (PB) y aminoácidos esenciales en gallinas ponedoras rubias en jaula (%) por periodos

	Prepuesta	Inicio puesta	Final puesta
Edad (semanas)	17-inicio	<45	>45
Proteína Bruta	16,4	16,5	15,8
Lisina	0,78	0,8	0,71
Lisina digerible	0,61	0,67	0,6
Metionina	0,38	0,4	0,35
Metionina digerible	0,31	0,34	0,3
Metionina + Cisteína	0,66	0,69	0,62
Metionina + Cisteína digerible	0,58	0,6	0,53
Treonina	0,55	0,57	0,5
Treonina digerible	0,52	0,48	0,43
Triptófano	0,17	0,17	0,16
Triptófano digerible	0,14	0,14	0,13
Isoleucina total	0,65	0,67	0,6
Arginina total	0,84	0,86	0,76

Fuente: FEDNA (2008)

Sin embargo, debido a que estas necesidades no son fijas y pueden variar según la genética, condiciones ambientales, nivel de ingestión, concentración energética de los piensos, entre otras, en ocasiones es preferible estimar las necesidades de AA siguiendo el concepto de proteína ideal, de Mitchell (1924 y 1964). Según este concepto que fue inicialmente desarrollado para porcino, las necesidades de los AA se expresan en función de un AA de referencia, habitualmente la lisina. Así, estimando las necesidades de un único AA podemos conocer las necesidades del

resto. En la Tabla 3 se muestran los perfiles de proteína ideal para gallinas ponedoras según diferentes fuentes.

Tabla 3, Perfil de proteína ideal según varios autores

	NRC (1994)	CVB (1996)	Coon y Zhang (1999)	Leeson y Summer (2005)	Rostagno (2005)	Bregendahl et.al (2008)
Lisina	100	100	100	100	100	100
Arginina	101		130	103	100	
Isoleucina	94	79	86	79	83	79
Metionina	43	50	49	51	50	47
Metionina + Cisteína	84	93	81	88	91	94
Treonina	68	66	73	80	66	77
Triptófano	23	19	20	21	23	22
Valina	101	86	102	89	30	93

Adaptado de Bregendahl et al. (2008)

En cuanto a los **minerales**, las necesidades de calcio (Ca) y fósforo (P) en gallinas ponedoras son elevadas debido a la producción de huevos por sí misma. De todos modos, Leeson y Summers (2005) mostraron que, en el inicio de la puesta, no es recomendable excederse en los niveles de calcio (Ca, < 3.75%) ya que reduce el consumo del pienso y aumenta la humedad de las heces. No ocurre lo mismo en los animales de edad avanzada, ya que inclusiones de Ca de más de 4,5%, no parecen generar ningún perjuicio. En general, las necesidades de Ca se expresan como Ca total, dada la escasa información existente sobre la disponibilidad para aves de este mineral en diversos ingredientes. Según FEDNA (2008), las fuentes de origen mineral se absorben mejor que las de origen vegetal, y el Ca de los fosfatos mejor que el de los carbonatos. Respecto al fósforo (P), las necesidades se expresan como P total, digestible o disponible. En España es común evaluar las necesidades de P en disponible, el cual se basa en comparar la disponibilidad de los diversos ingredientes en comparación con la de una fuente patrón, generalmente fosfato bicálcico o fosfato monocálcico. En piensos comerciales, la utilización de fitasas en dosis óptima, permite reducir el nivel de P total de los piensos, (Kozlowski y Jeroch ,2011). En el caso de las recomendaciones FEDNA se estima que el P total de los piensos puede reducirse en 0.09 – 0.10 y el P digestible en 0.06 – 0.075 unidades porcentuales al incluir fitasas. Los valores estimados de necesidades para ambos minerales en gallinas ponedoras se detallan a continuación, en la Tabla 4.

Tabla 4, Necesidades de Ca y P (%) para gallinas ponedoras rubias en jaula según edad.

		Prepuesta	Inicio puesta	Final puesta
Edad (semanas)		17-inicio	<45	>45
Calcio	min	2,85	3,7	3,9
	máx.	3,5	3,85	4,2
Fósforo total		0,6	0,57	0,52
Fósforo disponible	min	0,4	0,37	0,32
	máx.	0,45	4,4	0,38
Fósforo digestible	min	0,33	0,31	0,27
	máx.	0,38	0,33	0,32

Fuente: FEDNA (2008)

Existen otros minerales y micronutrientes relevantes para la nutrición de aves, como los microminerales (Zn, Cu) y vitaminas (biotina y ácido fólico, por ejemplo). Igualmente, importante en nutrición de aves es respetar el balance electrolítico (balance entre las concentraciones totales de aniones y cationes) en los piensos que en el caso de las aves de puesta se sitúa en torno al 175-225 meq/kg en aves de puesta (FEDNA 2008).

1.2.2 Materias primas en piensos de gallinas ponedoras: fuentes alternativas de proteína

Como en la mayoría de monogástricos, los piensos concentrados constituyen la base de la alimentación en explotaciones de gallinas ponedoras. Las fuentes principales de energía y proteína en los piensos son los cereales como maíz, trigo, cebada, sorgo, y oleaginosas como girasol y soja respectivamente. Estos ingredientes suelen tener una buena calidad nutricional para gallinas. Los cereales se utilizan como **fuentes de energía** debido a la alta digestibilidad que presentan para las aves, por su elevada presencia de almidón (principalmente en el caso del maíz), elevada palatabilidad, alta densidad energética, fácilmente disponible y la reducida presencia de factores antinutricionales (FAN) (INTA Rafaela, 2015). Por otro lado, la fuente de proteína más utilizada en aves sigue siendo la harina de soja por su elevada calidad en proteína para monogástricos.

Sin embargo, la producción de estas **materias primas** para la fabricación de piensos tiene un elevado impacto ambiental en la producción animal intensiva y es una de las claves para la reducción de la huella ambiental asociada a los productos animales en busca de aumentar su sostenibilidad. Por un lado, el cambio en el uso del suelo con masas forestales que pasan a tierras de cultivo de cereales y oleaginosas conlleva una

pérdida de sumideros de dióxido de carbono (CO₂) y se traduce en mayores emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) atribuibles a la producción ganadera, además de un consumo de recursos hídricos importante, (Nijdam et al., 2012). Por otro lado, tanto los cereales como la soja compiten con alimentación humana. En la actualidad, aproximadamente la tercera parte de los cereales producidos en el mundo son consumidos por animales domésticos, (INTA Balcarce, 2014). Teniendo en cuenta el escenario de aumento de la población mundial en los próximos años estos ingredientes dejarán de ser competitivos en alimentación animal (FAO, 2002; Wilkinson, 2011; Makkar, 2016). Por otro lado, particularmente para **fuentes de proteína** como la soja, Europa es deficitaria por lo que necesita importar la mayoría de lo que consume, hecho que incrementa el impacto ambiental de los piensos y también la dependencia de países terceros en cuanto a disponibilidad y volatilidad de los precios. Según el último informe de balance proteico de la Comisión Europea (European Commission, 2016-2017), Europa tiene un déficit de 95% en grano de soja que se utiliza para alimentación animal, lo que quiere decir que, para satisfacer las necesidades de uso de este grano se debe importar el 95% del mismo.

Estos y otros factores han llevado, en los últimos años a buscar **nuevas fuentes de proteína** más sostenibles por parte del sector para alimentar a los animales en producción. Entre estos ingredientes se encuentran los **subproductos** procedentes de la actividad agroindustrial como los subproductos de cereales y frutas y verduras, las harinas de oleaginosas y los subproductos de la industria del biocombustible (Lumpkins et al., 2005; Masa'deh et al., 2011; y Ajila et al., 2012) y otras **materias primas alternativas** como la harina de insectos, las microalgas y las fuentes de proteína microbiana. Estos últimos muestran una buena calidad biológica de su proteína y mucha potencialidad como fuentes de proteína, Sánchez et.al; (2013). No obstante, su escalado a nivel industrial está aún por desarrollar.

1.2.2.1 Ventajas y desventajas del uso de subproductos agroindustriales en alimentación animal

En cuanto a los **subproductos agroindustriales**, estos son, por definición, residuos secundarios de la agroindustria, materiales vegetales no convencionales y residuos orgánicos de origen animal. En la Tabla 5 se muestra la clasificación de los subproductos agroindustriales disponibles para la nutrición animal, propuesta por Ajila et al. (2012) según su origen.

Tabla 5, Clasificación de los subproductos agroindustriales

ORIGEN VEGETAL		ORIGEN INDUSTRIA FERMENTACIÓN	
Subproductos de la industria de la molienda	Salvado, harinas, restos de procesos de limpieza de los granos, germen de trigo, maíz y centeno, cascarillas de algunas semillas	Industria del bioetanol	Granos secos de destilería de cereales y de patata
Subproductos de la industria del aceite	Harina y torta de soja, colza, girasol, lino, camelina y aceituna. Productos formados en el refinamiento de aceites vegetales, lectina, ácidos grasos y glicerol	Industria del azúcar y el almidón	Melaza, pulpa de remolacha, pulpa de patata, jugo de patata y gomas de gluten
		Industria de la destilería	Residuos de cervecería, levaduras
Industria de la fruta y la verdura	Productos resultantes del procesado de frutas y verduras. Pulpas y semillas de frutas	Industria del vino	Orujo de uva, levadura de vino
		Industria de los ácidos orgánicos	Biomasa de bacterias y hongo

Fuente: Adaptado de Ajila et al. (2012).

Su adecuada utilización y procesamiento tiene algunas ventajas como constituir una vía de eliminación de residuos en las industrias, mitigando así daños en el medio ambiente. Además, al ser subproductos de otra actividad industrial su coste puede ser más competitivo que el de las materias primas habituales en alimentación animal y presentar un beneficio para los productores desde el punto de vista económico. Sin embargo, los subproductos suelen presentar una elevada variabilidad nutricional y química, lo que resulta complejo al momento de realizar una recomendación nutricional o formular un pienso (Arana et.al., 2000). Además, estos pueden contener elevados niveles de FAN como taninos, inhibidores de tripsina, ácido erúxico, glucosinolatos, inhibidor de las proteasas, fitatos, cianógenos e inhibidores de diversas vitaminas ente otros, y su concentración puede depender de la calidad de la planta, variedad, suelo, estado fisiológico, fecha de cosecha entre otros (Casso et.al.,1995). Por otro lado, la mayoría de los subproductos son estacionales, dado esto principalmente por la estacionalidad propia de los cultivos de los cuales provienen, algunos presentan dificultad para conservación lo que requiere sean consumidos en un plazo corto de tiempo, lo que lleva a los nutricionistas a modificar muchas veces las dietas en función de esto, (INTA Balcarce, 2014). Por último, los subproductos suelen contener niveles elevados de fibra lo que puede dificultar su uso en dietas de

monogástricos como las aves y el porcino, (INTA Balcarce, 2014), considerándose incluso en algunos casos como FAN.

Por lo tanto, pese a considerarse alternativas reales a otras materias primas en la fabricación de piensos para poder emplear los subproductos agroindustriales de manera adecuada es necesario caracterizar su variabilidad y estudiar su inocuidad para los animales (componentes tóxicos, FAN) y su valor nutricional.

1.2.2.2 Principales subproductos proteicos empleados en alimentación de gallinas

La búsqueda de fuentes alternativas a la soja en Europa para alimentación de aves no resulta fácil, ya que estos animales precisan de proteína de alta calidad para producir correctamente. En la actualidad las fuentes de proteína alternativas más utilizadas en Europa son los subproductos de la industria del bioetanol (granos secos de destilería; DDGS) procedentes de cereales y los subproductos procedentes de la industria del aceite como las harinas y tortas de oleaginosas (girasol y colza).

Los subproductos del bioetanol han reducido su disponibilidad en Europa en los últimos años, pero siguen siendo ingredientes altamente disponibles en otros lugares del mundo como Estados Unidos. El proceso de obtención de bioetanol a partir de cereales implica la fermentación del almidón del grano de cereal para la obtención, en partes iguales (1/3), de etanol, CO₂ y DDGS como subproducto seco del proceso (US Grains Council, 2018). Al llevarse a cabo la transformación del azúcar o almidón en etanol y CO₂, los nutrientes restantes en el grano de cereal se concentran, por lo que los DDGS poseen un elevado contenido en fibra, grasa y PB, y son por estas características, interesantes subproductos para su uso en la alimentación animal (Sauvant et al., 2004; FEDNA, 2017).

Por otro lado, en el caso de las oleaginosas, la extracción del aceite para consumo humano o combustible genera tres tipos de subproductos principales, cascarilla, harina y torta. La primera es producto de la extracción de la cascara de la semilla de la oleaginosa, generalmente previo a la extracción de aceite. Los otros dos subproductos (harina y torta), son residuo directo del proceso de extracción del aceite. En general se utilizan dos sistemas, el prensado en frío o la extracción mediante el uso de solventes químicos, (INTA, 2015). En el primer caso, el subproducto que se genera es denominado torta o “expeller” y cuenta con un mayor porcentaje de extracto etéreo (EE). En el segundo caso (solventes) el subproducto que se genera se denomina harina y suele tener un menor porcentaje de EE, ya que la extracción del

aceite resulta más eficiente (Tabla 6). Tanto las harinas como las tortas de oleaginosas suelen tener un elevado contenido en PB y fibra.

En la Tabla 6 se muestra la composición media de estas materias primas proteicas (DDGS, harinas y tortas de colza, girasol y lino) en comparación con la soja (harina) según Sauvant et al. (2004) y FEDNA (2017). En general, tal como se observa en la tabla, estos subproductos poseen características comunes como son un moderado-elevado contenido en PB (entre un 29,7 y un 33,8% en base seca), aunque este es en general algo menor al de la harina de soja, un elevado contenido en fibra (entre un 25,1 y un 46% de fibra neutro detergente, FND) en general mayor que el de la harina de soja y un variable contenido en EE (entre un 2,47 y un 10,4%) que, en el caso de las oleaginosas, dependerá del método de procesado.

Tabla 6, Comparación nutricional (Energía metabolizable (EMA), Proteína bruta (PB), Extracto etéreo (EE), Fibra neutro detergente (FND), Fibra ácido detergente (FAD), Lignina ácido detergente (LAD) entre subproductos proteicos en base seca.

		EMA (Kcal/kg)	PB (%)	EE (%)	FND (%)	FAD (%)	LAD (%)
Soja (48% PB)	Harina	2273 - 2440	51,6 -55,1	2,1 - 2,16	8 - 13,8	5 - 8,31	0,35 - 0,8
	Maíz	2200- 2400	28,0	10,4	32,4	12,6	3,61
DDGS	Trigo	2160 - 2392	36,8	4,93	31,8	12,1	3,8
	Torta (7,3% EE)	2540	35,0	8,20	30,2	19,0	6,70
Colza 00	Harina	1460 - 1700	40,0 - 37,9	2,47 - 2,59	31,9 - 32,5	22- 22,3	7,30 - 10,7
	Torta	2030	36,7	9,60	35,8	24,9	5,50
Girasol (34%PB)	Harina	1507 - 1700	31,2 – 38,0	1,89 - 2,30	38,7 – 46,0	24,5 – 33,0	6,11 - 11,2
	Torta	1340 - 1650	34 - 34,2	8,3 - 8,9	25,5 - 25,8	15,7 - 16,2	5,90 - 6,60
Lino	Harina	1364 - 1380	35,9 – 37	3,10 - 3,40	25,1 -25,7	15,6 – 16,0	5,80 - 6,50

Fuentes: Sauvant et.al (2004) y FEDNA (2017)

Existen numerosos trabajos en la bibliografía que estudian las consecuencias del uso de estas materias primas en alimentación de gallinas ponedoras. En general, los niveles de inclusión propuestos para estas materias primas en alimentación de gallinas son bajos debido principalmente a su elevado contenido en fibra y FAN, estos último especialmente importantes en el caso de las oleaginosas. Sin embargo, particularmente para la fibra, aunque su aporte nutricional es bajo, numerosos estudios indican que, dependiendo del tipo y cantidad incorporada, esta puede afectar de forma positiva al tracto gastrointestinal y la productividad en gallinas (Lizardo et al., 1997; Schiavon et al., 2004; Mateos et al., 2006). A nivel digestivo, la presencia de fibra en la

molleja disminuye la velocidad de tránsito del alimento hacia el duodeno e incrementa la secreción de ácido clorhídrico disminuyendo el pH. Este último fenómeno tiene consecuencias beneficiosas, debido a que mejora la solubilidad de minerales y proteínas (González – Alvarado et al., 2007). La fibra puede también influir sobre 1) la sensación de saciedad y su relación con el bienestar animal, 2) la incidencia de úlceras, colitis inespecíficas y otros procesos digestivos, 3) la flora digestiva, 4) la actividad de la molleja y la motilidad del tracto gastrointestinal (Lizardo et al., 1997; Schiavon et al., 2004; Mateos et al., 2006).

En cuanto a los DDGS, su uso en gallinas está bastante extendido. Estudios como los de Lumpkins et al. (2005) y Masa'deh et al. (2011) demuestran que los DDGS de maíz pueden alcanzar valores energéticos y proteicos de 2.800- 2.905 kcal de EMA/ kg y de 27-30% de proteína para gallinas ponedoras. Además, estos estudios demuestran que es posible incorporarlos en piensos a niveles de 15% sin consecuencias negativas en la producción y calidad del huevo. Sin embargo, otros estudios muestran que su incorporación en piensos puede, en ocasiones, dar lugar a diferencias en productividad cuando se utilizan mayores niveles o dependiendo de la fase de producción.

Roberts et al. (2008) observaron en un estudio donde las gallinas fueron alimentadas con dietas que contenían 0, 23, 46 o 69 % de DDGS de maíz durante 8 semanas, una disminución en la producción de huevos al aumentar el contenido de DDGS de maíz en la dieta que fue compensada por un aumento en el peso del huevo, de modo que la masa del huevo no se vio afectada. El aumento en el peso del huevo se atribuyó a un aumento en la cantidad de grasa (incluyendo el ácido linoleico). El único efecto observado en la calidad del huevo en este estudio fue un aumento en el color amarillo de la yema de huevo.

En otro estudio (Masa'deh et al., 2011) en el que las gallinas fueron alimentadas con dietas que contenían 0, 5, 10, 15, 20 o 25% de DDGS de maíz desde las 24 a las 46 semanas (fase 1) y desde las 47 a las 76 semanas (fase 2) de edad, arrojó como resultado que un aumento del nivel de DDGS más allá del 15% causó una reducción en el peso del huevo durante la fase 1 de producción de huevos, aunque no se observaron diferencias en el peso del huevo durante la fase 2. Por lo tanto, parece que niveles de hasta un 15% de inclusión de DDGS de maíz en gallinas ponedoras podrían considerarse seguros. En un estudio realizado con gallinas, alimentadas con semilla de lino y canola, se afirma que el contenido de ácidos grasos omega-3 de huevos de gallinas aumentó significativamente ($P < .05$), (Cherian et al., 1991).

En cuanto a las harinas/tortas de oleaginosas, estudios como los de Sayada et.al. (2011) y Angelovičová et.al (2013) en girasol, demuestran que los niveles de inclusión en dietas de gallinas ponedoras pueden ser muy variables, entre un 20 y un 5% sin afectar su rendimiento productivo. En el caso de la harina y torta de colza, su contenido en FAN como el ácido erúcido y los glucosinolatos es alto de forma natural. En este sentido, la obtención de variedades 00 o “bajas en glucosinolatos” mediante selección y mejora genética ha permitido un incremento del uso de este ingrediente en piensos de monogástricos. Foulardi et.al (2008) realizó un estudio con gallinas ponedoras para determinar el efecto de reemplazar diferentes niveles de harina de soja con harina de colza y trabajando con 4 niveles de harina de colza; 0, 5, 10 y 15%, concluyo que era posible reemplazar el 10% de harina de colza con harina de soja resultando en beneficios económicos para los productores.

En la actualidad en España se está potenciando el cultivo de otra oleaginosa de la misma familia que la colza (Familia Brassicaceae), la *Camelina sativa* (Figura 1).



Figura 1, Planta de *Camelina sativa*. Fuente: el cultivo de la camelina en Aragón (2013)

Si bien *Camelina sativa* ya se cultiva hace años en Europa del este, en España se trata de un cultivo emergente, con un creciente interés por parte de los agricultores por su rusticidad, su resistencia a la sequía, rentabilidad en suelos áridos y adecuación a estrategias de agricultura sostenible. El aceite de camelina puede ser transformado en combustible para aviación y los subproductos como la torta se caracterizan por su

elevado contenido en ácidos grasos omega 3, antioxidantes naturales como tocoferol y vitamina E (Zubr y Matthaus, 2002). Es importante también destacar que, tanto la harina como la torta poseen un elevado porcentaje de proteína (habitualmente entre 34 y 37%) y de AA esenciales entre ellos lisina y metionina que son los principales AA limitantes en aves, con un perfil muy similar a la torta/harina de colza (de Blas et al., 2003; Alhotan et.al, 2017). A nivel de grasa, la torta contiene un valor medio de un 13% de EE (Woyengo, 2016; Cano, 2018). En general, su contenido en FAN como los glucosinolatos suele ser bajo, aunque es conveniente analizarlos, ya que su concentración depende de la variedad de planta, condiciones agronómicas y proceso extractivo (Cano, 2018). Sin embargo, puede presentar niveles moderados de otros factores antinutricionales como el ácido erúxico y los inhibidores de tripsina (Russo et al., 2014; FEDNA, 2015; Cano, 2018). Aunque a nivel de composición la harina y torta de camelina presenta similitud con la de la colza (elevado contenido en proteína, fibra y grasa), los subproductos de la camelina, cascarilla, harina y torta (Figura 2) están menos caracterizados y desarrollados que los subproductos de la colza y son más variables.



Figura 2, subproductos de la Camelina sativa. Fuente: Camelina solutions

Por su composición, en la actualidad los subproductos del procesado de camelina se consideran una alternativa proteica interesante a estudiar para su inclusión en piensos de aves, pero se requieren más estudios a cerca de su variabilidad, manejo, valoración nutricional, digestibilidad y niveles de inclusión máximos para poder usarlos con garantías productivas y de calidad de producto en un futuro. No son muchas las experiencias que se han realizado a nivel mundial respecto al uso de la torta y harina de Camelina sativa en la alimentación de gallinas ponedoras y aves en general. Principalmente, los estudios que existen en gallinas ponedoras hacen referencia a parámetros de calidad del huevo como su composición lipídica y perfil de ácidos grasos ya que estos pueden variar como resultado de la inclusión en la dieta de diferentes formas y cantidades de Camelina, como torta, haría y semilla. Diversos estudios realizados con gallinas Lohmann brown indican que la inclusión de

este ingrediente (en 5 y 10%) aumenta significativamente el contenido de ácidos grasos omega-3 en el huevo, mejorando su calidad nutricional (Alén et.al, 2002; Campbell et.al, 2009; Cherian et.al, 2016), si bien niveles superiores de inclusión pueden comprometer la ingestión y la digestibilidad de los nutrientes. Sin embargo, hasta la fecha no tenemos conocimiento de que se hayan desarrollado trabajos experimentales que estudien el valor nutricional (energético y proteico) de los subproductos de *Camelina sativa* en alimentación de gallinas ponedoras, aspecto fundamental a la hora de poder utilizar estos ingredientes en sus piensos.

2 JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS.

El presente trabajo, viene motivado por varios factores. Por un lado, la producción de huevos en la Unión Europea (UE) representa un sector importante, capaz de proporcionar un alimento de calidad a la población, y con un futuro prometedor. Por otro lado, el aumento en producción de productos animales como el huevo que se prevé para los próximos años en respuesta a una mayor demanda debe abordarse de manera sostenible. Desde la prohibición en el año 2000 por parte de la UE del uso de harinas de carne en alimentación del ganado, la harina de soja se ha convertido en la fuente proteica más utilizada en piensos de aves, dado la disponibilidad y elevado valor biológico de su proteína. Pero esto genera un problema importante de dependencia de mercado y de sostenibilidad, dado porque la mayor parte de la soja utilizada en la UE proviene de América y solamente el 5% de la soja utilizada en la UE está cubierto por la producción europea. Además, en un futuro próximo se prevé la imposición de medidas más restrictivas por parte de la UE hacia la importación de productos transgénicos, entre ellos la soja, lo que podría aumentar su precio reduciendo el margen de beneficio del sector. Todo ello convierte en necesaria la búsqueda de fuentes proteicas alternativas que permitan satisfacer las necesidades en proteína y AA en alimentación animal. Año a año, el área del cultivo de *Camelina sativa* en España viene creciendo impulsado por la empresa Camelina Company. De esta manera, aumenta también la disponibilidad en el mercado de los subproductos que se generan de la extracción del aceite para su uso como biocombustible. Los principales subproductos que son la harina y torta de camelina presentan un interesante perfil nutricional: elevado contenido proteico y grasa (en el caso de la torta, principalmente omega 3), por lo que se presentan como importantes subproductos proteicos en la alimentación de aves hoy. Si bien algunos estudios indican mejoras en la calidad del huevo aumentando su contenido de omega 3, no hay información publicada sobre la valoración nutricional para gallinas ponedoras. Se cree por tanto fundamental la realización de trabajos en esta área, para poder incluir a estos subproductos como ingrediente en piensos de esta especie.

Por todo ello, los principales objetivos de este trabajo son:

- Determinar el coeficiente de digestibilidad ileal estandarizada de la proteína de la harina y torta de camelina en gallinas ponedoras
- Determinar el coeficiente de digestibilidad ileal estandarizada de los aminoácidos de la harina y torta de camelina en gallinas ponedoras.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en el Centro de Investigación y Tecnología Animal (CITA-IVIA) perteneciente al Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA), ubicado en Segorbe (Castellón) y en los laboratorios del Departamento de Ciencia Animal de la Universidad Politécnica de València (UPV) ubicado en Valencia. La primera etapa de la prueba (fase de campo) se realizó en la Unidad experimental de aves de puesta del CITA-IVIA desde el día 2 al día 10 de mayo de 2018. La segunda etapa de la prueba (fase de laboratorio) se realizó en los laboratorios mencionados del Departamento de Ciencia Animal de la UPV durante los meses posteriores.

3.1 Animales, alojamiento, diseño experimental y alimentación

Los procedimientos experimentales realizados en este ensayo fueron aprobados por el comité ético de la UPV con el número de registro 2016/VSC/PEA/00025. Para la prueba se utilizaron 160 gallinas de la raza Lohmann Brown-classic de 38 semanas de vida, procedentes de una granja de recría de la empresa Huevos Guillén. Los animales se ubicaron en la sala 2 de la Unidad experimental de aves de puesta del CITA desde su llegada. Esta sala dispone de un sistema de control ambiental basado en temperatura (sistema Copilot®) y 60 jaulas (60 x 50 x 120 cm) enriquecidas dispuestas en 4 baterías de 3 pisos cada una (Figura 3). Cada jaula constó de un comedero y sistema de recogida de huevos individualizados (por jaula), 3 bebederos de tetina, un nidal, un aseladero y un limador de uñas de acuerdo con las necesidades de enriquecimiento ambiental dispuestas en el real decreto 3/2002. Los animales del ensayo se alojaron en 40 de estas jaulas (pisos medio y bajo de cada batería) a razón de 4 animales/jaula.



Figura 3, alojamiento de los animales durante la prueba.

Los animales fueron sometidos a un régimen luz: oscuridad creciente desde su llegada que se fijó en 14 (7:00h-21:00h):10 horas al día durante el estudio. La temperatura de la sala se mantuvo en torno a los 20°C durante toda la prueba.

Los animales se criaron con pienso comercial a base de maíz, harina de soja y trigo y con una composición media de 2750 kcal/kg de EMA y 18,2% de PB hasta las 30 semanas de edad, momento en el que se realizó con los animales un ensayo de valoración energética de harina y torta de camelina que no fue objeto de este trabajo. Tras el ensayo de valoración energética los animales se mantuvieron durante 7 semanas más con el pienso comercial anterior (Camperbroiler puesta, Nanta). A las 38 semanas de vida se inició el ensayo de valoración proteica y de AA objeto del presente trabajo. Una semana antes del inicio de la prueba (37 semanas) se pesaron los animales y se controló el consumo de pienso y la producción de huevos por jaula (periodo pre-experimental). Teniendo en cuenta la ubicación de las jaulas en la sala y los datos de peso medio, consumo y producción de huevos de la semana previa, se asignaron los diferentes tratamientos. La Figura 4 muestra la distribución de los tratamientos dentro de cada batería.

BATERIA 1					BATERIA 2				
JAULA 10 C	JAULA 9 T10	JAULA 8 H10	JAULA 7 H20	JAULA 6 H10	JAULA 25 T10	JAULA 24 C	JAULA 23 T20	JAULA 22 H20	JAULA 21 H10
JAULA 5 H20	JAULA 4 C	JAULA 3 T20	JAULA 2 T10	JAULA 1 H10	JAULA 20 T20	JAULA 19 T10	JAULA 18 H10	JAULA 17 H20	JAULA 16 C

BATERIA 3					BATERIA 4				
JAULA 40 T5	JAULA 39 T10	JAULA 38 H10	JAULA 37 C	JAULA 36 H20	JAULA 55 H10	JAULA 54 T20	JAULA 53 T10	JAULA 52 H20	JAULA 51 C
JAULA 35 H10	JAULA 34 H20	JAULA 33 C	JAULA 32 T20	JAULA 31 T10	JAULA 50 T10	JAULA 49 C	JAULA 48 H10	JAULA 47 T20	JAULA 46 H20

Figura 4, distribución de los tratamientos dentro de las baterías.

Las jaulas se dividieron en 5 tratamientos (8 jaulas por tratamiento) correspondientes a 5 piensos experimentales que diferían en el porcentaje de inclusión de harina y torta de camelina, respectivamente. Así, los 5 tratamientos fueron:

- Tratamiento 1 (C): a base de maíz, gluten de trigo, soja y almidón de maíz (20%)
- Tratamiento 2 (10H): pienso con 10% harina de camelina
- Tratamiento 3 (20H): pienso con 20% harina de camelina
- Tratamiento 4 (10T): pienso con 10% torta de camelina
- Tratamiento 5 (20T): pienso con 20% torta de camelina

La harina y torta de camelina utilizadas en los piensos provenía de la empresa Camelina Company España y su composición se presenta en la Tabla 7. La harina provenía de un proceso de extracción del aceite a partir de solventes mientras que la torta provenía de un procesado mediante prensado en frío. Para la fabricación de los 5 piensos experimentales se formuló una mezcla base común para todos los piensos que incluía maíz, gluten de trigo, soja, aceite de soja, AA sintéticos, minerales, vitaminas y dióxido de titanio (TiO₂) que constituiría el 80% de cada pienso. Esta mezcla base única se dividió posteriormente en 5 partes iguales. En una de estas partes el 20% restante se completó con almidón de maíz (pienso control). El pienso control fue formulado para cubrir las necesidades nutricionales (energía, AA, minerales y vitaminas) de gallinas de puesta de menos de 45 semanas de edad (FEDNA, 2008) e incluir un 5% de TiO₂. En las demás partes el 20% se completó con un 10% de almidón y un 10% de harina o torta de camelina (tratamientos 10H y 10T,

respectivamente) o directamente con un 20% de harina o torta de camelina (tratamientos 20H y 20T, respectivamente) tal y como se describe en Rezvani et al. (2008). De esta manera que la concentración final de harina y torta de camelina en los piensos 10H y 10T fue de un 10 % y en los piensos 20H y 20T de un 20%, tal y como se muestra en la tabla 8. Las dos fuentes proteicas se incluyen en los diferentes piensos en sustitución 1:1 del almidón de maíz por lo que las diferencias en concentración de AA de los piensos resultan únicamente de la inclusión de harina o torta de camelina (Rezvani et al., 2008).

Tabla 7, Comparación química de la harina y la torta de camelina incluidas en las dietas experimentales (en base seca)

	Harina	Torta
Materia seca	90,9	92
Cenizas (%)	6,24	5,92
Fibra Neutro Detergente (%)	36,8	31,9
Fibra Ácido Detergente (%)	18,6	18
Lignina Ácido Detergente (%)	6,5	6,42
Fibra Bruta (%)	10,8	11,9
Grasa Bruta (%)	3,36	11,06
Proteína Bruta (%)	43,4	38,5
Proteína Bruta ligada a FND (Fibra neutro detergente) (%)	11,4	8,7
Almidón (%)	1,45	2,53
Azúcares solubles (%)	11,2	10,5
Energía Bruta (Kcal/kg)	4673	5068
Polisacáridos no amiláceos (g/100g)		
Solubles	7,4	6,6
Insolubles	19,9	18,3
Totales	27,3	24,9
Aminoácidos totales (mg/100 g)		
Arginina	3154	2885
Histidina	995	840
Isoleucina	1344	1221
Leucina	2237	2047
Lisina	1692	1622
Metionina	786	726
Fenilalanina	1535	1338
Treonina	1552	1304
Valina	1933	1712
Alanina	1568	1284
Ácido Aspártico	3128	2787
Cisteína	861	806
Ácido Glutámico	6522	6189

Glicina	2200	1803
Prolina	1805	1613
Serina	2243	1593
Tirosina	1085	903
Factores antinutricionales		
Taninos (ppm)	433	409
Glucosinolatos totales (ppm)	11,3	1138
Ac. Erúxico (%) ^a	0,66	0,41

^a Sobre el % relativo de la grasa

El periodo experimental (etapa de campo) tuvo una duración total de 8 días, 7 días de adaptación y el día 8 se sacrificaron los animales, tal y como se describe en (Kluth et.al (2018). El pienso fue ofrecido *ad libitum*, al igual que el agua que se brindó a voluntad durante todo el periodo experimental.

Tabla 8, Composición en ingredientes (%) de los piensos experimentales (MS)

Ingredientes	Control**	H10**	H20**	T10**	T20**
Maíz nacional	45,5	45,5	45,5	45,5	45,5
Almidón 84	20	10	0	10	0
Hna. camelina solventes	0	10	20	0	0
Torta camelina presión	0	0	0	10	20
Gluten trigo hidrolizado	10	10	10	10	10
Soja 45	10	10	10	10	10
Aceite de Soja	2	2	2	2	2
L-lisina HCL	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
DL metionina	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
L-treonina	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
L-isoleucina	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Carbonato cálcico	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
Fosfato bicálcico	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
Cloruro sódico mina 96	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
Carbonato potásico	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
TiO2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Corrector vit-mineral ^a	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

**C: Tratamiento control, H10: incluye un 10% de harina de camelina, H20: incluye 20% de harina de camelina, T10: incluye 10% de

torta de camelina, T20: incluye 20% de torta de camelina.

Tabla 9, Nutrientes calculados y analizados en los piensos experimentales (en base seca)

Nutrientes	Control**	H10**	H20**	T10**	T20**
Materia seca ^b (%)	90,7	91	91,2	91,2	91,4
Cenizas ^b (%)	15,1	14,4	13,8	14,6	15,3
Energía Bruta ^b (%)	3860,9	4042,7	4085,2	4015,7	4120,6
Proteína Bruta ^b (%)	19,7	23,8	28,4	22,5	26,8
Grasa Bruta ^b (%)	4,43	5,06	5,41	5,97	6,64
Fibra Neutro Detergente ^b (%)	7,5	11,1	14,3	10,4	14,1
Fibra Ácido Detergente ^b (%)	1,67	3,36	5,3	3,4	5,27
Lignina Ácido Detergente ^b (%)	0,13	0,61	1,35	0,67	1,28
Aminoácidos totales ^b (mg/100g)					
Arginina	763	1087	1451	1050	1321
Histidina	321	430	529	389	495
Isoleucina	576	751	936	721	850
Leucina	1068	1349	1604	1301	1516
Lisina	737	932	1225	952	1111
Metionina	428	490	632	493	567
Fenilalanina	685	889	1048	839	960
Treonina	511	683	859	641	778
Valina	626	833	1066	787	966
Alanina	558	641	811	616	755
Ácido Aspártico	945	1228	1616	1252	1489
Cisteína	302	425	520	396	481
Ácido Glutámico	4219	5201	6345	4979	5598
Glicina	578	811	1060	746	935
Prolina	1293	1551	1813	1453	1628
Serina	768	1005	1254	924	1088
Tirosina	442	574	700	546	642
EMA AVES (kcal/kg) ^c	3365	3146	2939	3176	2998
Proteína bruta (%) ^c	18	22,7	27,5	22,1	26,3
Grasa bruta (%) ^c	4,43	4,75	5,09	5,52	6,62
Calcio (%) ^c	4,24	4,31	4,38	4,25	4,28
Fosforo (%) ^c	0,64	0,74	0,84	0,73	0,83
Fósforo digestible en aves (%) ^c	0,35	0,4	0,44	0,39	0,44

** C: Tratamiento control, H10: incluye un 10% de harina de camelina, H20: incluye 20% de harina de camelina, T10: incluye 10% de torta de camelina, T20: incluye 20% de torta de camelina. ^aAporta por kg de pienso: vitamina A, 37,500 IU; vitamina D3, 3750 IU; vitamina E (α-tocoferol acetato), 53 IU; vitamina B1, 2 mg; riboflavin (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; ^bNutrientes analizados; ^cNutrientes calculados

3.2 Medidas realizadas

A continuación, se describen las medidas y registros obtenidos de los animales durante el periodo experimental:

3.2.1 Rendimiento productivo

Los animales se pesaron por jaula 9 días antes del inicio del ensayo, al inicio del periodo de adaptación al pienso experimental y el día del sacrificio. Por otro lado, el consumo de pienso se controló durante los 9 días antes del inicio del ensayo (periodo pre-experimental con el pienso comercial), en el periodo de adaptación al pienso experimental (7 días) y durante las 24 h previas al sacrificio mediante el peso de la oferta y el rechazo de pienso.

Adicionalmente, la producción de huevos y su peso individual se controló durante la semana previa al ensayo y durante el periodo de adaptación a los piensos experimentales para calcular la masa del huevo ((porcentaje de puesta x peso de huevo) /100), el porcentaje de puesta (número de huevos por gallina por día x 100), el peso promedio del huevo (suma del peso de todos los huevos/nº de huevos totales). Con el dato de masa de huevo y los valores de consumo de pienso, se realizó el cálculo del índice de transformación (total pienso consumido/masa huevo) según se indica en Swiatkiewicz y Koreleski (2009). Este índice expresa cuantos gramos de pienso debe consumir el animal, para producir un gramo de huevo.

3.2.2 Digestibilidad íleal aparente

El día 8 de estudio se sacrificaron todos los animales, para obtener el contenido ileal, mediante inyección de pentobarbital sódico (1,5 ml/kg) intravenoso, que es el método recomendado para los estudios de digestibilidad de proteína y AA (Ravindran et al., 2017).

Inmediatamente tras el sacrificio se abrió la cavidad abdominal y se identificó el íleon como el fragmento de intestino localizado entre el divertículo vitelino (divertículo de Meckel) y aproximadamente 2 cm antes de la válvula ileocecal y se recogió el contenido de los últimos 2/3 medidos a partir de los 2 cm de la válvula ileocecal (Figura 5; Ravindran et al., 2018). Para extraer el contenido del íleon terminal se inyectó, suavemente con una jeringa de plástico agua desionizada en el interior de la

cavidad ileal evitando ejercer presión sobre las paredes intestinales (Figura 5; Rutherford et al., 2004; Gao et al., 2013). El pool del contenido ileal por réplica (de los 4 animales de cada jaula) se recogió en una placa Petri, y se congeló a -20°C para su posterior análisis.



Figura 5, Ubicación de la porción de íleon a utilizar (1), vaciado del íleon en placa Petri (2 y 3)

3.3 Análisis de laboratorio

La torta y harina de camelina y los piensos experimentales se analizaron para materia seca (MS), cenizas (Cz), extracto etéreo (EE) y PB según AOAC (2000). Para la determinación de la PB se analizó el contenido en N mediante combustión con un equipo Leco y la PB se estimó como $N \times 6.25$. Además, el contenido en energía bruta (EB) fue analizado mediante combustión en una bomba calorimétrica, el contenido en fibra (FND), fibra ácido detergente (PAD) y lignina ácido detergente (LAD)) fue determinado secuencialmente mediante la metodología descrita por Van Soest et al. (1991) y el contenido en PB ligada a fibra fue analizado según la metodología propuesta por Licitra et al. (1996). Por otro lado, se analizó el contenido en azúcares totales mediante la metodología descrita por Luff-Schoorl (Lees, 1975) y el almidón mediante métodos enzimáticos. Todos estos análisis se realizaron en los laboratorios de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). En la harina y torta de camelina y en los piensos experimentales se determinó, además, el contenido en aminoácidos (AA) totales y azufrados mediante cromatografía de gases (Liu et al., 1995) y óxido de titanio (TiO_2) mediante el método colorimétrico a 410 nm descrito por Short et al. (1996) en la UPV. El contenido en aminoácidos de las muestras se determinó tras someter a las mismas a una hidrólisis ácida con HCl 6N a 110°C durante 23 horas como describieron previamente (Liu et al., 1995). En la separación de los aminoácidos 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 aminoácidos se derivataron 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 perbórico y posterior hidrólisis con HCl 6N. El contenido ileal de los animales se liofilizó, molió y analizó también para MS, PB, AA y TiO₂ en los laboratorios de la UPV siguiendo los métodos descritos anteriormente

Además, en las muestras de harina y torta de camelina se analizó la concentración de ácido erúico según el método de cromatografía gaseosa de los metil ésteres de ácidos grasos basado en UNE-EN ISO 5508-1990), glucosinolatos totales mediante extracción por destilación y posterior valoración volumétrica (método publicado en el BOE 2/03/95) y taninos, analizados con espectrofotometría de UV/vis, todos estos análisis se realizaron en los laboratorios Labocor (Madrid). En estas muestras se analizó también el perfil de PNA por cromatografía de gases en los laboratorios Englyst Carbohydrates Ltd para determinar el contenido en polisacáridos no amiláceos (PNA) solubles, insolubles y totales según la metodología descrita en Englyst et al. (1994).

3.4 Cálculos y análisis estadístico

Una vez finalizadas las pruebas, y con los resultados obtenidos, se realizó un análisis exploratorio de los datos, así como los análisis estadísticos pertinentes mediante el paquete estadístico SAS System Software® (Versión 9.0).

El coeficiente de digestibilidad ileal aparente (CDIa) de la PB y AA de cada pienso experimental se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$CDIa = 1 - \left[\frac{\% \text{ marcador en la dieta}}{\% \text{ marcador en el ileon}} \times \frac{\% \text{ nutriente en el ileon}}{\% \text{ nutriente en la dieta}} \right]$$

Donde:

- % de marcador en la dieta: concentración de TIO₂ (marcador indigestible) presente en el pienso experimental.
- % de marcador en el íleon: concentración de TIO₂ presente en el contenido ileal extraído de los animales experimentales.
- % de nutriente en el íleon: cantidad de nutriente en cuestión, presente en el contenido ileal.
- %nutriente en la dieta: cantidad de nutriente en cuestión en la dieta experimental.

A continuación, se calcularon la ingestión diaria de PB y AA. Para ello se multiplicó la ingestión de MS durante las últimas 24 h antes del sacrificio (g/d) y la concentración de PB o AA en los piensos (mg/g). Por otro lado, la cantidad de AA digerido en el íleon terminal se calculó como la ingestión (mg/d) multiplicado por el CDIA de la PB o AA de los piensos.

Una vez obtenidos estos datos, los coeficientes de digestibilidad ileal estandarizada (CDIs) de la PB y AA de la harina y torta de camelina se obtuvieron mediante el cálculo de la regresión lineal ($y = a + bx$) entre la ingestión diaria (x) y la cantidad de nutriente digerido en íleon terminal (y) de cada ingrediente tal y como se describe en Rodehutsord et al. (2004). La pendiente de cada regresión multiplicada por 100 es el porcentaje de digestibilidad de la PB y AA de cada ingrediente. Mediante esta regresión los efectos de las dos fuentes proteicas se separan del pienso control. Las diferencias entre los CDIA de los piensos experimentales y las pendientes de las regresiones entre ingredientes para la PB y AA se testaron mediante un test ANOVA (proc GLM) y un ajuste Tukey en el que la jaula fue considerada la unidad experimental y el tratamiento el efecto clasificadorio. Las regresiones se calcularon mediante proc REG de SAS® en el que el factor principal fue de nuevo el tratamiento. Además del P-valor, en este caso se tomó el valor de R² como estimador del ajuste de los puntos a la línea de la regresión lineal y los P-valores < 0.05 se tomaron como límite de la significación de las diferencias encontradas.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Materias primas y piensos

Los subproductos de la *Camelina sativa* que se utilizan en este trabajo se caracterizan por tener un elevado contenido en proteína, 43,4 % la harina y 38,5% la torta (en base seca), y por presentar un elevado contenido en FND (36,8% la harina y 31,9% la torta), en FAD (18,6% la harina y 18,0% la torta) y en LAD (6,5% para la harina y 6,4% para la torta) (Tabla 7). Las diferencias principales de composición entre ambas materias primas se deben al proceso de extracción del aceite al que se somete cada uno de los ingredientes. En el caso de la harina, el aceite se extrae mediante solventes químicos (extracción por solventes) de manera más eficiente mientras que en el caso de la torta el aceite de la semilla se extrae mediante prensado mecánico (expellers) (Gallardo, 2015). La diferencia principal se encuentra, por tanto, en el contenido de EE presentando la torta un mayor valor (11,1% en MS) y la harina un valor más bajo (3,36 % en MS) para este componente. La diferencia que se presenta para el EE trae aparejado que la torta presente mayor valor de EB (5068 Kcal/kg MS frente a 4673 Kcal/kg MS). Por el contrario, otros nutrientes como la PB (y AA) y la fibra (incluidos los PNA, tanto soluble como insoluble) son menores en la torta en comparación con la harina. En ambas materias primas los PNA solubles representan aproximadamente un 27% y los insolubles un 73% del total de PNA.

La composición de la harina y torta de camelina en este trabajo es comparable a la observada en otros estudios, en los que la PB de esta materia prima presenta valores de aproximadamente 40 % para la harina de 36,6 % para la torta (Cherian, 2012). Respecto a la fibra, los valores de FND, FAD y LAD son similares a los descritos en FEDNA (2017) para la torta y la harina.

En comparación con otras materias primas proteicas, estas materias primas presentan un menor contenido en proteína que la harina de soja 44, que tiene un 50,1 % de PB (en MS) y algo superior al de la colza 00 alta en proteína que presenta un 40% de PB (en MS) en la harina y un 35,0 % de PB (en MS) en la torta (FEDNA, 2017). También presentan valores superiores de PB que los DDGS de trigo que son los DDGS que presentan un mayor contenido proteico (36,8% en MS) (FEDNA, 2017). Para el caso de la fibra, la harina de soja 44 presenta valores inferiores de FND, FAD y LAD (14,6, 8,2 y 0,5 % en MS, respectivamente) en comparación con la torta y harina de camelina. Sin embargo, los DDGS de cereales presentan valores similares de FND

(entre 30-37% en MS) aunque menores de FAD y LAD (entre 11 y 14% para la FAD y alrededor de 4-5% para la LAD en MS) que los subproductos de camelina según FEDNA (2017), indicando un posible menor contenido de hemicelulosas en los subproductos de camelina. En el caso de otras oleaginosas como la colza, la torta de colza presenta valores similares de FND, FAD y LAD a la torta de camelina (en torno a 30, 18 y 6%, respectivamente en MS). Sin embargo, la harina de colza presenta valores inferiores de FND y superiores de FAD que la harina de camelina (30 vs 37% para la FND y 22 vs 18% para la FAD, respectivamente) (Sauvant et al., 2004; FEDNA, 2017). En este estudio, además de analizar el contenido en fibra se ha caracterizado el perfil de carbohidratos de los subproductos de camelina mediante cromatografía. Hasta donde podemos conocer, no existen datos publicados sobre el perfil de PNA en los subproductos de camelina. En otras materias primas como la harina de camelina que pertenece a la misma familia taxonómica (*Brassicaceae*), Bell (1993) y Kocher et al. (2000) reportan un contenido en PNA de 16 a 18%, de los cuales aproximadamente un 1,5% son solubles. Los valores de PNA solubles en los subproductos de camelina del presente estudio son notablemente superiores (en torno a un 7%), lo que puede sugerir un posible efecto sobre la viscosidad de la digesta al ingerir camelina tal y como se discutirá más adelante.

Respecto a los FAN, como el resto de las especies de la familia *Brassicaceae*, la *Camelina sativa* tiene en su composición FAN que deben ser tenidos en cuenta a la hora de su utilización en piensos. Los principales son los glucosinolatos, sinapina y ácido erúxico (Cano, 2018). En el presente estudio se valoraron también los taninos. Los valores de taninos y ácido erúxico son muy similares entre harina y torta de camelina, aunque para ambos FAN, son ligeramente superiores para el caso de la harina en comparación con la torta (433 ppm contra 409 ppm para el caso de los taninos y 0,66 % frente 0,41% para el caso del ácido erúxico). La mayor diferencia entre torta y harina en este estudio se da para los glucosinolatos, para los que la harina presenta un valor de 11,3 ppm (0,113 μ moles/g), y la torta 1138 ppm (11,3 μ mol/g; Tabla 7). Esta diferencia en el contenido de glucosinolatos, puede deberse, por un lado, a diferencias en el lote de camelina y, por otro, al método de extracción del aceite. La harina y torta de camelina en este estudio proceden de diferentes cosechas de camelina y es conocido que el clima y las condiciones del suelo, afectan en gran medida la concentración de este FAN en los órganos de la planta, principalmente el elevado contenido de azufre en el suelo, que favorece su aparición (Russo y Reggiani, 2012). También el proceso de extracción de aceite puede afectar al contenido en glucosinolatos, ya que los mismos son en gran medida termolábiles, y la

extracción mediante el uso de solvente, implica un paso en el tratamiento con aplicación de calor (Cano, 2018), lo que explicaría el menor valor en el caso de la harina. Sin embargo, los niveles de los tres FAN analizados en este estudio son bajos en comparación con otras harinas y tortas de camelina que pueden presentar valores de hasta un 2 – 5 % de ácido erúcico, 1-2 mg/g de taninos y 25 μ moles/g de glucosinolatos ((Pekel et al., 2009; Ryh nen et al., 2007; Aziza et al., 2010; Russo et al., 2014; FEDNA, 2015; Heuz , 2017; Cano, 2018).

A nivel de piensos, el reemplazo de almidón de maíz por harina o torta de camelina provocó un aumento de los niveles de PB, AA y fibra de los piensos y una reducción del contenido de EMAn (Tabla 9). Además, el contenido en GB de las dietas fue mayor en las dietas con torta (T10 y T20) frente a los tratamientos con harina de camelina. La dieta C es la que present  un menor valor de EE. Los valores de PB y EE analizados fueron muy similares a los calculados (Tabla 9).

4.2 Rendimiento productivo

En la Tabla 10 se presentan los resultados del rendimiento productivo de las gallinas antes y durante el periodo experimental.

El consumo de pienso y la producción de huevos en la semana anterior a la prueba no presentaron diferencias significativas entre tratamientos ($P > 0,05$). Igualmente, el peso vivo al inicio de la prueba fue similar ($P > 0,05$) entre grupos de tratamiento mostrando una distribución homogénea de las réplicas (jaulas) entre tratamientos al inicio del estudio. Si se comparan estos datos, con los publicados para gallinas Lohmann Brown (Guía de manejo para gallinas Lohmann Brown, 2013), el consumo y peso para gallinas de 38 semanas deberían situarse alrededor de los 110 – 120 g de pienso por animal y día y los 1,9 – 2,1 kg de PV, respectivamente. Ambas condiciones que se cumplen al inicio de la prueba.

Tabla 10, Rendimiento productivo de los animales durante el periodo pre-experimental (9 días) y el periodo experimental (7 días)

Tratamiento ^a	Control	H10	H20	T10	T20	EEM ^b	P-valor
Peso vivo inicial (kg)	1,97	1,99	2,01	2,04	1,99	0,025	0,451
Peso vivo al sacrificio (kg)	2,01	2,00	1,92	2,03	1,91	0,029	0,019
Consumo en el periodo pre-experimental (g/d)	123	120	125	118	114	3,71	0,330
Consumo en el periodo de adaptación del periodo experimental (g/d, del día 1 al 7 de la prueba)	113a	112a	96,0b	105ab	97,9b	2,54	<0,001
Consumo últimas 24 horas del periodo experimental (g/d)	113ab	115a	110ab	105ab	101b	2,83	0,013
Producción de huevos en el periodo pre-experimental							
Peso medio del huevo (g)	64,5	64,1	63,6	64,7	64,7	0,859	0,848
Porcentaje de puesta (%)	98,6	98,8	95,5	95,5	96,8	1,49	0,291
Masa del huevo (g)	63,7	62,1	61,5	61,7	63,1	1,15	0,610
Producción de huevos en el periodo experimental							
Peso medio del huevo (g)	62,3	63,4	62,8	63,3	63,4	0,900	0,879
Porcentaje de puesta (%)	93,8	98,4	93,0	93,4	94,9	1,91	0,269
Masa del huevo (g)	58,4	62,3	58,3	58,9	60,3	1,15	0,093
Índice de transformación en el periodo experimental (g pienso/g masa de huevo)	1,94a	1,80ab	1,67bc	1,78abc	1,63 c	0,040	<0,001

^aC: tratamiento control, H10: incluye un 10% de harina de camelina, H20: incluye 20% de harina de camelina, T10: incluye 10% de torta de camelina, T20: incluye 20% de torta de camelina. ^bEEM: error estándar de la media. Misma fila con distinta letra indica diferencias significativas (P<0,05).

Sin embargo, el consumo de pienso en el periodo experimental disminuyó respecto al consumo en el periodo pre-experimental. Las 5 dietas experimentales se presentaron como harinas finas (materias primas molidas a 3 mm), mientras que el pienso comercial administrado en la semana previa al ensayo se presentaba con un tamaño de molienda mayor, lo que podría haber provocado esta reducción del consumo. Es conocido que la textura gruesa del alimento en gallinas incrementa el consumo, y la textura fina, como ser el caso de los piensos experimentales, la disminuye (Hamilton y Proudfoot., (1995), Frikha et al., (2008), Guía de manejo para gallinas Lohmann brown (2013)). Otros factores que pueden afectar a la ingestión de pienso en aves son el nivel de energía y de AA en los piensos de manera que un elevado nivel de energía y un aporte insuficiente de AA pueden reducir el consumo de pienso (Classen et al., 2017). En este caso, la EMA de los piensos experimentales (de

3861 a 4121 kcal EMA/kg MS) fue superior a la de la dieta comercial (2750 kcal EMA/kg), y podría explicar en parte esta reducción de consumo. Sin embargo, la dieta C fue la que contenía un mayor nivel energético y la que presentó un menor nivel de reducción con respecto al consumo en la etapa pre-experimental. En el caso de los AA, la dieta C fue formulada para ser equilibrada en AA con la adición de AA sintéticos y las dietas con camelina contaban con un porcentaje de proteína y AA incluso superior por lo que esta posibilidad podría también ser descartada.

Entre tratamientos se observan diferencias en el peso vivo al sacrificio y el consumo de pienso durante el periodo experimental. En concreto, el consumo de pienso durante el periodo experimental varió significativamente entre tratamientos. Concretamente, durante el periodo de adaptación (primeros 7 días) los tratamientos con mayor porcentaje de inclusión de camelina (H20 y T20) presentaron un menor consumo en comparación con los tratamientos C y H10. El tratamiento H20 presentó un consumo intermedio. Cuando se observa el consumo de las 24 horas previas al sacrificio, se puede apreciar que las diferencias entre tratamientos presentada en el periodo de adaptación ya no son tan notorias, y prácticamente desaparecen, a excepción del tratamiento T20, en el cual el consumo sigue siendo el más bajo. Estos resultados demuestran una cierta adaptación del consumo de los animales a las dietas con camelina. Por otro lado, el peso al sacrificio de los animales del tratamiento T20 tendió a ser inferior ($P < 0,10$) al del tratamiento control, lo que puede estar explicado por la diferencia en consumo que ambos presentaron. De todos modos, siguen siendo los pesos esperados según la guía de manejo de gallinas Lohmann brown para las 39 semanas de vida (entre 1,85 kg y 2,04 kg). El rechazo inicial de los animales a las dietas con camelina puede ser resultado de una disminución de la palatabilidad de estas dietas (Acamovic et al., 1999; Oryschak & Beltranena, 2000; Thacker and Widyaratne, 2012), relacionado o no con un elevado contenido en FAN y fibra. Un elevado contenido en FAN podría reducir el consumo de los piensos. Sin embargo, en este estudio el nivel de FAN de las dietas experimentales no alcanzó el nivel límite propuesto por Mushtaq et al. (2007). Por otro lado, estudios como el llevado a cabo por Pekel et al. (2015) sugieren que la inclusión de torta de camelina en los piensos puede incrementar la viscosidad de la digesta en pollos que, junto con el elevado contenido en fibra de las dietas con camelina, puede reducir el consumo y la digestibilidad de las dietas. Tal y como se observa en el perfil de carbohidratos analizado de la harina y la torta de camelina el nivel de PNA solubles (alrededor de un 7%) es superior al reportado para materias primas como la colza (en torno a un 1,5% según Bell (1993) y Kocher et al., (2000). Concretamente los PNA solubles pueden

tornarse viscosos en el tracto digestivo (Bedford y Classen, 1993; Ward, 2008) y, además de afectar la ingestión, pueden influir negativamente en la absorción, utilización y digestibilidad del nutriente (Pekel et al., 2009).

Respecto a los valores de producción de huevo, el peso promedio de los huevos, el porcentaje de puesta y la masa de huevo fueron ligeramente inferiores durante el periodo experimental en comparación con el periodo pre-experimental, hecho que podría responder a la reducción en el consumo de pienso durante el periodo experimental. Por otro lado, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos en peso medio, porcentaje de puesta y masa de huevo durante el periodo de adaptación a las dietas experimentales. Este resultado indica que las diferencias en composición y consumo de pienso no fueron suficientes para dar lugar a diferencias en la producción. En este sentido los 5 piensos experimentales cubren prácticamente todas las necesidades nutricionales de los animales, especialmente las necesidades proteicas y de AA según FEDNA (2008). Sin embargo, es cierto que un periodo de 7 días puede no ser suficiente para dar lugar a diferencias en los rendimientos productivos entre grupos de tratamiento. Donde sí existe una diferencia significativa entre tratamientos es en el IT durante el periodo experimental. El hecho de que los animales alimentados con camelina presentaran un menor consumo y no se observen diferencias en masa de huevo entre tratamientos hace que los tratamientos con camelina resulten más eficientes, especialmente el T20 ($P < 0,05$), ya que, para producir la misma masa de huevo necesitan menos pienso. Estos resultados son difíciles de justificar y es lógico pensar que se deben, de nuevo, al hecho de que en un periodo de tiempo tan corto es difícil observar diferencias en producción de huevos entre tratamientos. Otros estudios con camelina muestran mayores IT en gallinas cuando la inclusión de harina es mayor al 15%, (Campbell et al., 2009). En general, los IT que se observan en este estudio son inferiores a los planteados en el manual de la estirpe, donde manejan un 2,0 - 2,01 kg de pienso/kg de masa de huevo.

4.3 Coeficientes de digestibilidad de los piensos y los subproductos de camelina

En la Tabla 11, se observan los CDla de la proteína y AA, para los diferentes piensos experimentales en el estudio.

Tabla 11, Coeficiente de digestibilidad ileal de la proteína bruta (PB) y aminoácidos (AA) en dietas con diferentes concentraciones de harina y torta de camelina

Tratamientos	Control	H10	H20	T10	T20	EEM^b	P-valor
PB	88,3a	83,6b	77,8c	84,6ab	79,1c	1,21	0,149
Arginina	87,4a	83ab	82,5ab	85,1ab	81,9b	1,68	0,131
Histidina	92,6a	89,2b	86,4b	88,9ab	87,3b	1,13	0,006
Isoleucina	90a	85,6bc	82,6c	87,2ab	82,2c	1,27	0,005
Leucina	90,3a	86,1b	81,6c	87,6ab	82,6c	1,17	< 0,001
Lisina	93,5a	88,7bc	86,5c	90,5ab	86,1c	0,937	< 0,001
Metionina	94,7a	91,7b	80,5c	92,8ab	90,1c	0,885	0,001
Fenilalanina	92,2a	88,6b	85,4c	89,9ab	85,4c	1,03	< 0,001
Treonina	85,7a	79,8bc	77cd	82,0ab	75,7d	1,39	0,001
Valina	88,2a	83,0b	79,8bc	84,7ab	79,2c	1,29	< 0,001
Alanina	89,8a	82bc	78,7c	85,1b	79,3c	1,29	0,001
Ácido Aspártico	87,3a	80,8bc	78,3c	84,7ab	79,3c	1,46	0,004
Cisteína	88,9a	84,4b	81bc	85,0ab	79,1 c	1,64	0,001
Ácido Glutámico	95,7 a	93,2bc	91,2 d	94,3ab	91,6c	0,684	<0,001
Glicina	88,3a	83,7bc	80,6cd	84,6ab	79,9d	1,24	< 0,001
Prolina	93,7a	89,6b	86,5c	90,9ab	85,9c	0,953	< 0,001
Serina	89,9a	84,7bc	81,7cd	85,2b	79,3d	1,14	<0,001
Tirosina	92,3a	867bc	84,8cd	88,7b	83,2d	1,05	<0,001

^aC: tratamiento control, H10: incluye un 10% de harina de camelina, H20: incluye 20% de harina de camelina, T10: incluye 10% de torta de camelina, T20: incluye 20% de torta de camelina.; ^bEEM: error estándar de la media

El CDla de la PB presenta valores elevados en todos los piensos, ente 77,8 y 84,6%, similares a los descritos por Adedokun et.al (2014), donde para dietas con soja los valores de digestibilidad en gallinas ponedoras oscilaron entre 73,4 y 77,5%. También Rodehutschord et.al (2010) observa valores que oscilan entre 79 y 86% en dietas semisintéticas como las que se utilizan en este estudio. Entre tratamientos, la digestibilidad de la PB se redujo con la inclusión de camelina, así las dietas con mayor inclusión de camelina (H20 y T20) presentaron menores valores de digestibilidad (77,8 y 79,1%, respectivamente), en comparación con el resto de las dietas (P<0,05).

En cuanto a los AA y sus respectivos CDIs calculados, los valores fueron también elevados (entre 75 y 96%) y comparables a los descritos en 2008 por Rodehutschord para dietas similares. Entre tratamientos, se observa que no todos los AA se comportan de la misma manera. La dieta C y la dieta T10 mostraron los mayores valores de digestibilidad, excepto en el caso de la alanina, serina y tirosina para los que la dieta C presenta mayor ($P < 0.05$) CDI en comparación con el resto de las dietas y el caso de la arginina, para la cual las diferencias significativas solo se presentaron entre la dieta C y la dieta T20. Para el resto de los AA, aunque numéricamente los coeficientes de digestibilidad disminuyeron con la inclusión de camelina, las diferencias entre las dietas H10 y H20 y T20, no fueron significativas.

En general, los menores valores de CDI para la PB y AA que se observan en las dietas con la inclusión de camelina indican que la PB y AA de la torta y harina de camelina son, en general, menos digestibles que la ración base, probablemente debido al ya comentado efecto de su fibra sobre la digestión.

Los valores de CDIs para la PB y AA en la harina y torta de camelina, utilizadas en el trabajo y la cantidad de PB y AA digeribles (que no alcanzan el íleon terminal, calculado como PB o AA de los ingredientes x CDIs de la PB o AA) de estos ingredientes se presentan en la Tabla 11. En el presente estudio se eligió la metodología descrita por Rodehutschord et al. (2004) para estimar el CDIs de la PB y AA en los subproductos de camelina. Tal y como se indica en el trabajo metodológico de Rodehutschord et al. (2004), en el cálculo de la digestibilidad de los AA a nivel prececal utilizando la regresión lineal entre la ingestión diaria de PB y AA y la cantidad de PB y AA digeridos en íleon terminal, la pendiente de la recta indica la cantidad de nutriente digerido a nivel de íleon y la diferencia entre la pendiente y 1 corresponde a la parte no digerida, incluyendo las pérdidas endógenas de N de los animales. En los piensos experimentales, el incremento del nivel de PB y AA se debe únicamente a la inclusión de camelina y por esta razón, este método de cálculo del CDI de la PB y AA permite obtener directamente los CDIs, (estandarizados) sin necesidad de estimar las pérdidas endógenas de manera separada (dietas sin nitrógeno) y corregir los coeficientes de digestibilidad por ellas (Rodehutschord et al., 2004; Ravindran et al., 2017). Las pérdidas de N endógeno son a menudo difíciles de estimar ya que pueden estar relacionadas con el tipo de dieta o el nivel de ingestión, por ello, a nivel de evaluación nutricional el uso de la metodología descrita por Rodehutschord et al. (2004) aumenta la precisión de las evaluaciones. Sin embargo, tal y como señala el mismo autor, las estimaciones por regresión implican un esfuerzo mayor a nivel de ensayo

experimental ya que requieren un mínimo de 3 niveles de inclusión en comparación con los estudios de valoración proteica realizados mediante el método directo en los que simplemente se necesitan 2 tratamientos (dieta sin nitrógeno y dieta con el ingrediente problema, (Rodehutschord et al., 2004; Ravindran et al., 2017).

Tal y como se muestra en la Tabla 11, el ajuste (R^2) de las rectas de regresión con las que se calcularon los coeficientes de digestibilidad en este estudio fue en general elevado, con valores desde 0,97 a 0,82 para el caso de la harina y de 0,95 a 0,65 para el caso de la torta. El menor ajuste se encontró para el AA Alanina y, en especial, en la torta de camelina. En cuanto al CDIs de la PB, este presenta un valor medio alrededor del 59% para ambas, la harina y torta de camelina, lo que supone un contenido en PB digestible en íleon terminal de 28,2 y 25% en la harina y torta de camelina, respectivamente. Entre los diferentes AA se observan valores muy diferentes de CDIs. Los valores de digestibilidad para la arginina, histidina, isoleucina, lisina, metionina, cisteína, glicina, prolina, serina y tirosina son los más elevados tanto para harina como para torta, y fluctúan entre el 78 y 70%. En el caso de AA como la leucina, treonina, valina y el ácido aspártico, los valores de digestibilidad son menores, variando entre 65 y 68%. La Alanina es el AA que presenta los coeficientes de digestibilidad más bajos, 56,8% para la harina y 53,9% para la torta, y el ácido glutámico es el AA que presenta los valores de CDIs más elevados, 83,3 y 82,6% para la harina y torta respectivamente. Entre los AA esenciales, el que presenta mayor CDIs es la metionina (78,4% en el caso de la harina y 77,3% para la torta), lo cual es relevante ya que se trata del AA limitante en las gallinas ponedoras, y está relacionado con el tamaño de los huevos (FEDNA, 2008). Otro AA esencial muy importante en las gallinas como lo es la lisina presenta valores de CDIs no despreciables, de 76,6% para la harina y de 72,2% para la torta. En general, no se encontraron diferencias significativas entre la harina y la torta de camelina para la digestibilidad de la PB y los diferentes AA, tanto esenciales como no esenciales, excepto para la serina cuyo CDIs fue superior ($P < 0,05$) en la harina (70,2%) que en la torta (55,3%) de camelina.

Según nuestro conocimiento este es el primer estudio que muestra datos de digestibilidad de PB y AA de los subproductos de camelina en gallinas. Aunque existen estudios en los que se valoran las consecuencias de su inclusión sobre los rendimientos productivos, estos no aportan datos sobre su valoración nutritiva estimada *in vivo*. La información disponible en pollos es también escasa, aunque es posible encontrar algunos trabajos publicados al respecto. En 1999 el grupo de Acamovic et.al. publicó valores de digestibilidad para la PB de la harina de camelina que oscilaban entre 23,5 y 37,2%, siendo considerablemente más bajos que los

arrojados por el presente trabajo. Respecto a la digestibilidad de los AA, Woyengo et.al (2016) reportan en un estudio más reciente, valores superiores de CDIs para los AA de la torta de camelina a los encontrados en nuestro estudio, situándose entre 71 y 90%. En este mismo trabajo, a diferencia de lo observado en el presente estudio, el AA de la torta de camelina que presentó un mayor CDIs fue la arginina y el menor la prolina. Los valores de CDIs determinados para la metionina y la lisina en el estudio de Woyengo et.al (2016) fueron ligeramente superiores a los estimados en el presente estudio (85,5 y 76,5%, respectivamente). Si se comparan los coeficientes de digestibilidad de proteína y AA de la torta y harina de camelina con la de otros subproductos proteicos utilizados en la nutrición de gallinas como pueden ser la soja o la colza, observamos que según las tablas FEDNA (2017), la harina de soja 44 presenta un valor de proteína digestible para aves de un 38,3%, claramente superior al presentado por la harina y torta de camelina (25,6 % y de 22,8 %, respectivamente). En el caso de la colza, esta presenta valores de contenido digestible levemente menores, entre un 25-27% para la harina y un 24-25% para la torta. Para el caso de los AA limitantes en las gallinas, metionina y lisina, la harina de soja 44 presenta valores de metionina y lisina digestibles para aves de 0,52% y 2,33%, respectivamente. El valor de metionina digestible en la harina de soja 44 es similar al obtenido para la camelina, siendo 0,62% en la harina y 0,57% en la torta. Sin embargo, el contenido de lisina digestible en la harina y torta de camelina es inferior al de la harina de soja 44 (1,30 y 1,24% para la harina y la torta, respectivamente). En el caso de la colza, los valores de metionina digestible en la harina y la torta son similares a los de la harina y torta de camelina (en torno al 0,60% y 0,55 % para la harina y la torta, respectivamente). Para la lisina, el contenido de lisina digestible en la harina y torta de colza es ligeramente superior al de la harina y torta de camelina (1,51% vs 1,30% para la harina y 1,30% vs 1,24% para la torta).

Tabla 12, Digestibilidad ileal estandarizada y cantidad de proteína bruta (PB) y aminoácidos digestibles (% en materia seca)^a en íleon terminal de la harina y torta de camelina utilizando el método de regresión

	Harina				Torta				P-valor
	Coeficiente de digestibilidad			Cantidad digestible	Coeficiente de digestibilidad			Cantidad digestible	
	Media (%)	EEM ^b	R ²		Media (%)	EEM ^b	R ²		
PB	59,0	6,06	0,82	25,6	59,3	6,10	0,83	22,8	0,416
Arginina	77,4	5,19	0,91	2,44	73,0	4,57	0,93	2,23	0,715
Histidina	76,8	3,9	0,95	0,76	74,2	4,21	0,94	0,64	0,154
Isoleucina	70,9	5,14	0,9	0,95	64,7	5,42	0,88	0,87	0,265
Leucina	65,5	5,5	0,87	1,47	65,9	6,22	0,85	1,34	0,469
Lisina	76,6	3,67	0,95	1,30	72,2	4,32	0,93	1,24	0,446
Metionina	78,4	3,55	0,96	0,62	77,3	5,03	0,92	0,57	0,389
Fenilalanina	73,8	4,71	0,92	1,13	70,8	5,75	0,88	0,99	0,249
Treonina	65,7	5,3	0,88	1,02	55,6	6,08	0,81	0,86	0,176
Valina	68,1	4,78	0,91	1,32	60,8	5,15	0,87	1,17	0,186
Alanina	56,8	6,36	0,79	0,89	53,9	8,88	0,65	0,73	0,336
Ácido Aspártico	67,3	5,49	0,88	2,11	67	5,55	0,88	1,88	0,734
Cisteína	71,8	6,01	0,88	0,62	61,6	5,26	0,87	0,58	0,116
Ácido Glutámico	83,2	3,43	0,97	5,43	82,6	4,11	0,95	5,15	0,425
Glicina	71,7	4,22	0,93	1,58	63,4	4,14	0,92	1,29	0,114
Prolina	72,1	5,47	0,89	1,30	72,6	9,46	0,75	1,16	0,17
Serina	70,2	4,47	0,92	1,57	55,3	7,33	0,74	1,12	0,016
Tirosina	72,2	4,4	0,93	0,78	64,5	5,81	0,86	0,65	0,090

^aCantidad de AA digestibles: AA total en la harina / torta de camelina (%) * CD; ^bEEM: error estándar de la media

Los resultados obtenidos en este estudio muestran, por primera vez, que la harina y torta de camelina son una fuente aceptable de PB y AA en piensos de gallinas, presentando una composición y niveles de PB y AA digestibles comparables a la harina y torta de colza. Sin embargo, es necesario la realización de más experiencias que apoyen los valores calculados en este trabajo y permitan determinar el nivel máximo de inclusión de camelia en los piensos para no perjudicar los rendimientos productivos, considerando entre otros la variabilidad en FAN y fibra que la misma puede contener.

5 CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten concluir bajo las condiciones de este estudio que:

- 1) La inclusión de harina y torta de camelina a niveles crecientes (10 y 20%) en piensos de gallinas ponedoras durante 7 días puede dar lugar a una reducción del consumo debido, probablemente, a su elevado contenido en polisacáridos no amiláceos solubles. Sin embargo, este efecto negativo sobre el consumo se redujo con el tiempo de adaptación y no afectó, aparentemente, a la producción de huevos en este periodo de tiempo.
- 2) Los coeficientes de digestibilidad ileal estandarizada de la proteína bruta en la torta y harina de camelina estimados por regresión son moderados y se encuentran en torno al 59 % (59,0% en el caso de la harina y 59,3% en el caso de la torta).
- 3) Los coeficientes de digestibilidad ileal estandarizada de los diferentes aminoácidos en la torta y harina de camelina estimados por regresión son, en general, elevados presentando valores de entre 83 y 54%. La alanina es el aminoácido que presenta los coeficientes de digestibilidad más bajos (56,8% y 53,9%) y el ácido glutámico es el que presenta los coeficientes de digestibilidad más altos (83,3% y 82,6%) en la harina y torta de camelina, respectivamente. En cuanto a los aminoácidos esenciales, la metionina, aminoácido esencial en las aves de postura, presenta valores de digestibilidad ileal estandarizada aceptables, de 78,4% en el caso de la harina y 77,3% en el caso de la torta, siendo la cantidad de metionina digestible en la camelina similar a la aportada por la colza. La lisina, segundo aminoácido en importancia para aves, presenta valores de digestibilidades aceptables, de un 76,6% para la harina y de un 72,2% para la torta.
- 4) En general, no se observan diferencias estadísticas en el coeficiente de digestibilidad ileal estandarizada de la proteína y los diferentes aminoácidos entre la harina y torta de camelina. Únicamente en el caso de la serina el coeficiente de digestibilidad fue superior ($P < 0,05$) en la harina que en la torta (70,2% vs 55,3%).

6 BIBLIOGRAFÍA

Acamovic, T., C. Gilbert, K. Lamb, and K. C. Walker. 1999. Nutritive value of *Camelina sativa* meal for poultry. *Br. Poult. Sci.*40(Suppl. 1):27–41.

Adedokun, S. A., Jaynes, P., El-hack, M. E. A., Payne, R. L., & Applegate, T. J. (2009). Standardized ileal amino acid digestibility of meat and bone meal and soybean meal in laying hens and broilers, 420–428.

Ajila, C. M., Brar, S. K., Verma, M., Tyagi, R. D., Godbout, S., Valéro, J. R., ... Valéro, J. R. (2012). Bio-processing of agro-byproducts to animal feed Bio-processing of agro-byproducts to animal feed, 8551.

<https://doi.org/10.3109/07388551.2012.659172>

Alhotan R. A., Wang R. L., R. A. Holser, G. M. Pesti; Nutritive value and the maximum inclusion level of pennycress meal for broiler chickens, *Poultry Science*, Volume 96, Issue 7, 1 July 2017, Pages 2281–2293, <https://doi.org/10.3382/ps/pex019>

Angelovi, M., & Angelovi, M. (2013). Rapeseed Cakes as an Important Feed Raw Material for Laying Hens, 46(2), 335–338.

Arana M.J., DeGroot M.A., Miller J.R., DePeters E.J. (2007) Variability in Chemical Composition and Digestibility of Twelve By-Product Feedstuffs Utilized in the California Dairy Industry1 *Professional Animal Scientist*, 23 (2) , pp. 148-163.

Araujo, LF et al. Energy and lysine for broilers from 44 to 55 days of age. *Rev. Bras. Cienc. Avic.* [online]. 2005, vol.7, n.4 [cited 2018-09-18], pp.237-241. Available from: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-635X2005000400007&lng=en&nrm=iso. ISSN 1516-635X.

<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-635X2005000400007>.

AOAC, 2000. *Official Methods of Analysis*, 17th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, USA.

Asociación española de productores de huevos. (2018). *El sector y sostenibilidad y medio ambiente*. Consultado el 31/03/201.

<http://www.aseprhu.es/>

Aziza, A. E., Panda, A. K., Quezada, N., & Cherian, G. (2013). Nutrient digestibility, egg quality, and fatty acid composition of brown laying hens fed

camelina or flaxseed meal. *Journal of Applied Poultry Research*, 22(4), 832–841.
<https://doi.org/10.3382/japr.2013-00735>

Awad, S., & Ali, M. (2014). Sunflower Meal As An alternative protein source to groundnut meal in laying HENS. *SUNFLOWER MEAL AS AN ALTERNATIVE PROTEIN SOURCE TO GROUNDNUT MEAL IN LAYING HENS* (December).

Bedford, M. & R. Classen, H. L.; An In Vitro Assay for Prediction of Broiler Intestinal Viscosity and Growth When Fed Rye-Based Diets in the Presence of Exogenous Enzymes, *Poultry Science*, Volume 72, Issue 1, 1 January 1993, Pages 137–143

Bell J. M. Factors affecting the nutritional value of canola meal: A review, *Can. J. Anim. Sci.*, 1993, vol. 73 (pg. 679-697)

Blas, C., Mateos, G.G. y García Rebollar, P. (2017) Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal.,

Bregendahl, Kristjan; Roberts, Stacey; Kerr, Brian; and Hoehler, Dirk (2008) "Ideal Amino Acid Profile for 28-to-34-Week-Old Laying Hens," *Animal Industry Report: AS 654, ASL R2332*.

Bouvairel, I., Y. Nys, M. Panheleux, and P. Lescoat. 2010. Comment l'alimentation des poules influence la qualité des oeufs. *INRA Prod. Anim.* 23:167–182

Camelina Solutions, consultado el 25/08/2018 <http://camelinasolutions.com>

Cano Luis, J. (2018). ANTI-NUTRICIONALES FACTORES.

Casso, R. B., Montero, R. N., Veterinaria, M., Regional, C., & Pen, U. (1995). Factores antinutricionales en la alimentación de animales monogástricos.

Cherian, G. J. S. Sim; Effect of Feeding Full Fat Flax and Canola Seeds to Laying Hens on the Fatty Acid Composition of Eggs, Embryos, and Newly Hatched Chicks, *Poultry Science*, Volume 70, Issue 4, 1 April 1991, Pages 917–922

Cherian G. Camelina sativa in poultry diets: opportunities and challenges. Ch. 17. In: Makkar HPS, editor. *Biofuel Co-Products as Livestock Feed*:

Opportunities and Challenges. Rome: Food and Agricultural Organization of the United Nations; 2012. pp. 303–10.

Cherian, G., Campbell, A., & Parker, T. (2009). Egg quality and lipid composition of eggs from hens fed *Camelina sativa*. *Journal of Applied Poultry Research*, 18(2), 143–150. <https://doi.org/10.3382/japr.2008-00070>

Cherian, G., & Quezada, N. (2016). Egg quality, fatty acid composition and immunoglobulin Y content in eggs from laying hens fed full fat camelina or flax seed. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 7(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/s40104-016-0075-y>

Classen, H. L., E. Herwig, N. Karunaratne, D. D. L. S. Bryan, and R. K. Savary (2017) Factors Affecting Broiler Volunteer Feed Intake in Practice. Proceedings of the 21st European Symposium of Poultry Nutrition, Salou/Vila-Seca, Tarragona, Spain, pp. 36–40

Comisión Europea, balance de proteína 2016/2017
https://ec.europa.eu/agriculture/cereals/balance-sheets_en

Consejo de granos US Manual de usuario de DDGS, 2018. Consultado el 10/09/2018. <https://grains.org/buying-selling/ddgs/user-handbook/>

El cultivo de Camelina en Aragón, 2013. Disponible en:
http://bibliotecavirtual.aragon.es/bva/i18n/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=3707798

FAO. (2016). Inicio, recursos, infografía, infographics details, el huevo en cifras. Consultado el 31/03/2018. <http://www.fao.org/home/es/>

Fundación Española Desarrollo Nutrición Animal. 2008. Necesidades Nutricionales para Avicultura: Pollos de Carne y Aves de Puesta. R. Lázaro and G. G. Mateos, ed. Fund. Esp. Desarro. Nutr. Anim., Madrid, Spain.
<http://www.fundacionfedna.org/>

Ferket, P. R., Gernat, A. G., Science, P., & Carolina, N. (2006). Factors That Affect Feed Intake of Meat Birds : A Review, 5(10), 905–911.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2009. How to Feed the World in 2050; FAO: Rome, Italy, 2009

Frikha, M., Safaa, H. M., Serrano, M. P., Arbe, X., & Mateos, G. G. (2009). Influence of the main cereal and feed form of the diet on performance and

digestive tract traits of brown-egg laying pullets 1, (2001), 994–1002.
<https://doi.org/10.3382/ps.2008-00480>

Fundación Española para el desarrollo de la nutrición animal, FEDNA.
Necesidades nutricionales para avicultura: pollos de carne y aves de puesta.
Consultado el 06/04/2018. <http://www.fundacionfedna.org/>

Gao C. Q., Ji C., Zhao L. H., Zhang J. Y., Ma Q. G. Phytase transgenic corn in nutrition of laying hens: Residual phytase activity and phytate phosphorus content in the gastrointestinal tract. *Poult. Sci.* 2013;92:2923–2929

Gonzalez-Alvarado JM, Jimenez-Moreno E, Lazaro R, Mateos GG. 2007. Effect of type of cereal, heat processing of the cereal, and inclusion of fiber in the diet on productive performance and digestive traits of broilers. *Poult Sci.* 86:1705–1715

Grupo, A., Inta, A., & Balcarce, E. E. A. (2014). NUTRICIÓN, 1–160.

Guía de manejo, gallinas ponedoras Lohmann Brown Classic, disponible en <http://ibertec.es/docs/productos/lbcbrown.pdf>

Hamilton, R. M. G., and F. G. Proudfoot. 1995. Effects of ingredient particle size and feed form on the performance of Leghorn hens. *Can. J. Anim. Sci.* 75:109–114

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA. <https://inta.gob.ar/>

INTA Rafaela, artículo de divulgación “SOJA: HARINAS DE EXTRACCIÓN PARA LA ALIMENTACIÓN DEL GANADO”, Gallardo, M. (2015)
http://rafaela.inta.gov.ar/info/documentos/art_divulgacion/ad_0015.htm

INTERNATIONAL EGG COMMISSION IEC Global Leadership Conference
- Brujas (Bélgica), 10-14 de septiembre de 2017

Kluth H., W. Siegert W., Ganzer C, & M. Rodehutschord. 2017. Effect of particle size distribution of maize and soybean meal on the precaecal amino acid digestibility in broiler chickens.

Pages 68-75 | Received 06 Feb 2017, Accepted 26 Jul 2017, Accepted author version posted online: 14 Sep 2017, Published online: 17 Oct 2017
Download citation <https://doi.org/10.1080/00071668.2017.1380295>

Kocher A., Choct M., Porter M. D., Broz J.. The effects of enzyme addition to broiler diets containing high concentration of canola or sunflower meal, *Poult. Sci.* , 2000, vol. 79 (pg. 1767-1774)

Kozłowski K., Jankowski J., Jeroch H., 2010a. Efficacy of different levels of *Escherichia coli* phytase in broiler diets with a reduced P content. *Pol. J. Vet. Sci.* 13, 431-436

Kozłowski K., Jankowski J., Jeroch H., 2010b. Efficacy of *Escherichia coli*-derived phytase on performance, bone mineralization and nutrient digestibility in meat-type turkeys. *Vet. Med. Zoot.* 52, 59-66

Latshaw, J. D., & Zhao, L. (2004). Dietary protein effects on hen performance and nitrogen excretion. <https://doi.org/10.3382/ps.2010-01035>

Lees R 1975, *Food Analysis: Analytical and Quality Control Methods for the Manufacturer and Buyer*. Leonard Hill Books, pp. 145-146.

Leeson, S., and J. D. Summers. 2005. *Commercial Poultry Nutrition*. 3rd ed. Nottingham University Press, Nottingham, UK

Liu, H.J., Chang, B.Y., Yan, H.W., Yu, F.H. y Liu, X.X. 1995. Determination of amino acids in food and feed by derivatization with 6-aminoquinolyl-Nhydroxysuccinimidyl carbamate and reverse-phase liquid chromatographic separation. *Journal of AOAC International*. 78: 736-744.

Licitra, G., Hernández, T.M., Van Soest, P.J., 1996. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feed. *Anim. Feed Sci. Technol.* 57, 347–358.

Lizardo, R., Peiniau, J. y Aumaitre, A. (1997) En: *Proc. VIIIth Int. Symp. on Digestive Physiology in Pigs*. Laplace, J., Fevrier, C. y Barbeau, A. (eds). pp. 630-633. (PDF) Efectos de la fibra dietética en piensos de iniciación para pollitos y lechones.

https://www.researchgate.net/publication/28179787_Efectos_de_la_fibra_dietetica_en_pensos_de_iniciacion_para_pollitos_y_lechones

Lumpkins B, Batal A, Dale N. Use of Distillers Dried Grains Plus Solubles in Laying Hen Diets. *Journal Applied Poultry Research* 2005;14(1):25–3

Makkar, H. P. S., & Division, H. (2016). *Broadening Horizons*, 3(July).

Masa'deh M K, Purdum SE, Hanford KJ. Dried distillers grains with solubles in laying hen diets. *Poultry Science* 2011;90(9):1960–1966

Mateos, G.G., González, J.M. y Lázaro, R. (2004) En: Proc. Alltech's 20th Annual Symposium. T.P. Lyons y K.A. Jacques (eds). Nottingham University

Mitchell, H.H. (1924) *Physiological Reviews* 4, 424-478.

Mitchell, H.H. (1964) En: Comparative nutrition of man and domestic animals, Academic Press, pp 567-647.

Ministerio de agricultura y pesca, alimentación y medio ambiente, España (2017). ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/sectores-ganaderos/avicola-de-puesta/informacion-del-sector/. Consultado el 30/03/2018. <http://www.mapama.gob.es/es/>

Mushtaq T, Sarwar M, Ahmad G, Mirza M, Nawaz H, Mushtaq MH, 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. *Poult Sci.* 86:2144–2151.

National Research Council. 1994. Nutrient Requirements of Poultry: Ninth Revised Edition, 1994. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/2114>.

Nahm, K.H. 2007. Feed formulations to reduce N excretion and ammonia emission from poultry manure. *Bioresource Technology*, 98(12):2282-2300.

Nijdam, D., Rood, T., Westhoek, H. 2012. The price of protein: Review of land use and carbon footprints from life cycle assessments of animal food products and their substitutes. *Food Policy*, 37: 760-770.

NRC. 1994. Nutrient requirements of swine. 10th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.

Organización interprofesional del huevo y sus productos, 2018. <http://www.inprovo.com/>

Oryschak, M., & Beltranena, E. (2000). Camelina sativa meal as a feedstuff for laying hens : I . Effects on layer performance, (780), 4567.

Pekel, A. Y., Kim, J. I., Chapple, C., & Adeola, O. (2003). Nutritional characteristics of camelina meal for 3-week-old broiler chickens 1.

Pekel, A. Y., Kim, J. I., Chapple, C., & Adeola, O. (2016). Nutritional characteristics of camelina meal for 3-week-old broiler chickens Nutritional characteristics of camelina meal for 3-week-old broiler chickens 1, (September). <https://doi.org/10.3382/ps/peu066>

Pérez-Bonilla, A., C. Jabbour, M. Frikha, S. Mirzaie, J. Garcia, and G. G. Mateos. 2012. Effect of crude protein and fat content of the diet on productive performance and egg quality traits of brown egg-laying hens with different initial body weight. *Poult. Sci.* 91:1400–1405

Powers W. Angel R, A . 2008. Review of the Capacity for Nutritional Strategies to Address Environmental Challenges in Poultry Production

Ravindran V, Adeola O, Rodehutsord M, Kluth H, Van der Klis JD, Van Eerden E, Helmbrecht A (2017) Determination of ileal digestibility of amino acids in raw materials for broiler chickens: results of collaborative studies and assay recommendations. *Animal Feed Science and Technology* 225, 62–72.

Rezvani, M., Kluth, H., & Rodehutsord, M. (2018). Comparison of Amino Acid Digestibility Determined Prececally or Based on Total Excretion of Cecectomized Laying Hens, (September). <https://doi.org/10.3382/ps.2008-00144>

Riyazi, S., Maheri-sis, N., Branch, S., Vahdatpour, T., Braanch, S., & Fouladi, P. (2008). The Effects of Replacing Soybean Meal with Different Levels of Rapeseed Meal on Performance of Commercial Laying Hens, (June). <https://doi.org/10.3923/ajava.2008.448.452>

Rodehutsord Dr, Professor, M. Kapocius, R. Timmler & A. Dieckmann (2004) Linear regression approach to study amino acid digestibility in broiler chickens, *British Poultry Science*, 45:1, 85-92, DOI: 10.1080/00071660410001668905

Rodehutsord, M., Kapocius, M., Timmler, R., & Dieckmann, A. (2007). Linear regression approach to study amino acid digestibility in broiler chickens, 1668. <https://doi.org/10.1080/00071660410001668905>

Rokka, T., Alén, K., Valaja, J., & Ryhänen, E. L. (2002). The effect of a Camelina sativa enriched diet on the composition and sensory quality of hen eggs. *Food Research International*, 35(2–3), 253–256. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(01\)00193-4](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(01)00193-4)

Russo, R., & Reggiani, R. (2012). Antinutritive Compounds in Twelve Camelina sativa Genotypes, 2012(October), 1408–1412.

Rutherford S. M., Chung T. K., Morel P. C., Moughan P. J. Effect of microbial phytase on the ileal digestibility of phytate phosphorus, total phosphorus, and amino acids in a low-phosphorus diet for broilers. *Poult. Sci.* 2004;83:61–68.

Safaa, H. M., Valencia, D. G., Frikha, M., Serrano, M. P., & Mateos, G. G. (2008). Effect of main cereal of the diet and particle size of the cereal on productive performance and egg quality of brown egg-laying hens, (2002), 608–614.
<https://doi.org/10.3382/ps.2008-00328>

Sánchez-muros, M., Barroso, F. G., & Manzano-agugliaro, F. (2014). Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review. *Journal of Cleaner Production*, 65, 16–27. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.068>

SAS. 2004. Institute. SAS User's Guide. Statistics, Version 9. 22004 ed. Cary (NC): SAS Institute Inc.

Sauvant, D., J.-M. Perez, and G. Tran, editors. 2004. Tables of composition and nutritional value of feed materials. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands, and INRA, Paris

Schiavon, S., Tagliapietra, F., Barloni, L. y Bortolozzo, A. (2004) *Ital. J. Anim. Sci.* 3: 337-351.

Short, F.J.; Gorton, P.; Wiseman, J.; Boorman, K.N. (1996). Determination of titanium dioxide added as an inert marker in chicken digestibility studies. *Animal Feed Science and Technology*, 59: 215-221.

Skunca D, Tomasevic I, Nastasijevic I, Tomovic V, Djekic I, (2018) Life cycle assessment of the chicken meat chain, *Journal of Cleaner Production*, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.02.274.

Swiatkiewicz, S., & Koreleski, J. (2014). Effect of crude glycerin level in the diet of laying hens on egg performance and nutrient utilization Effect of crude glycerin level in the diet of laying hens on egg performance and nutrient utilization, (April 2009).
<https://doi.org/10.3382/ps.2008-00303>

Thacker, P., & Widyaratne, G. (2012). Archives of Animal Nutrition 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, 2817.
<https://doi.org/10.1080/1745039X.2012.710082>

Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74, 3583–3597.

Ward, N. E. (2008). Los polisacáridos no amiláceos en la alimentación avícola.

Wilkinson, J. (2011). Re-defining efficiency of feed use by livestock. *Animal*, 5(7), 1014-1022. doi:10.1017/S175173111100005X

Woyengo, T. A., Patterson, R., Slominski, B. A., Beltranena, E., & Zijlstra, R. T. (2015). Nutritive value of cold-pressed camelina cake with or without supplementation of multi-enzyme in broiler chickens, 2314–2321.

Zubr, J., & Matthaus, B. (2002). Effects of growth conditions on fatty acids and tocopherols in *Camelina sativa* oil. *Industrial Crops and Products*, 15(2), 155–162. [https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(01\)00106-6](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(01)00106-6)