



Universitat Autònoma de Barcelona

**ADVERTIMENT.** L'accés als continguts d'aquesta tesi doctoral i la seva utilització ha de respectar els drets de la persona autora. Pot ser utilitzada per a consulta o estudi personal, així com en activitats o materials d'investigació i docència en els termes establerts a l'art. 32 del Text Refós de la Llei de Propietat Intel·lectual (RDL 1/1996). Per altres utilitzacions es requereix l'autorització prèvia i expressa de la persona autora. En qualsevol cas, en la utilització dels seus continguts caldrà indicar de forma clara el nom i cognoms de la persona autora i el títol de la tesi doctoral. No s'autoritza la seva reproducció o altres formes d'explotació efectuades amb finalitats de lucre ni la seva comunicació pública des d'un lloc aliè al servei TDX. Tampoc s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant als continguts de la tesi com als seus resums i índexs.

**ADVERTENCIA.** El acceso a los contenidos de esta tesis doctoral y su utilización debe respetar los derechos de la persona autora. Puede ser utilizada para consulta o estudio personal, así como en actividades o materiales de investigación y docencia en los términos establecidos en el art. 32 del Texto Refundido de la Ley de Propiedad Intelectual (RDL 1/1996). Para otros usos se requiere la autorización previa y expresa de la persona autora. En cualquier caso, en la utilización de sus contenidos se deberá indicar de forma clara el nombre y apellidos de la persona autora y el título de la tesis doctoral. No se autoriza su reproducción u otras formas de explotación efectuadas con fines lucrativos ni su comunicación pública desde un sitio ajeno al servicio TDR. Tampoco se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al contenido de la tesis como a sus resúmenes e índices.

**WARNING.** The access to the contents of this doctoral thesis and its use must respect the rights of the author. It can be used for reference or private study, as well as research and learning activities or materials in the terms established by the 32nd article of the Spanish Consolidated Copyright Act (RDL 1/1996). Express and previous authorization of the author is required for any other uses. In any case, when using its content, full name of the author and title of the thesis must be clearly indicated. Reproduction or other forms of for profit use or public communication from outside TDX service is not allowed. Presentation of its content in a window or frame external to TDX (framing) is not authorized either. These rights affect both the content of the thesis and its abstracts and indexes.



# **“Torta de camelina y harina de camelina en los piensos para el cebo de terneros”**

Tesis doctoral presentada por:

**HÈCTOR SALAS OLIVÉ**

Bajo la direcció de los doctores:

**ALFRED FERRET QUESADA Y LORENA CASTILLEJOS VELÁZQUEZ**

Para acceder al grado de Doctor dentro del programa de Doctorado en Producció Animal del Departament de Ciència Animal i dels Aliments

Bellaterra, 2020





Alfred Ferret Quesada y Lorena Castillejos Velázquez, investigadores del Departament de Ciència Animal i dels Aliments de la Facultat de Veterinària de la Universitat Autònoma de Barcelona,

Certifican:

Que la memoria titulada “Torta de camelina y harina de camelina en los piensos para el cebo de terneros”, presentada por Hèctor Salas Olivé con la finalidad de optar al grado de Doctor en Veterinaria, ha sido realizada bajo su dirección, y considerándola acabada, autorizan su presentación para que sea juzgada por la comisión.

Alfred Ferret Quesada

Lorena Castillejos Velázquez

Y para que conste a efectos oportunos, firman la presente en Bellaterra,

12 de Noviembre de 2020.



La presente memoria de tesis se ha podido realizar gracias a la financiación del Ministerio de Economía y Competitividad de España y del Fondo Regional de Desarrollo Europeo al Proyecto RTC-2015-3265-5.



# Agraïments

Senzillament vull agrair el suport, la paciència, les experiències i l'ajuda que he rebut de part de les persones que han estat al meu costat durant aquests darrers anys, sobretot a la meva Parella, a la meva Família i a les meves Amistats més properes.

Personalment crec que no és qüestió de fer un llistat de noms. Prefereixo que cadascú recordi els moments que hem compartit durant aquests anys i que quan hi pensi sàpiga que li agraeixo pel que m'han aportat com a persona i com a professional. Espero que també en guardeu un bon record.

Finalment m'agradaria fer una menció especial als meus tutors y directors que m'han guiat en trams que no ha sigut senzill, s'han adaptat i m'han ajudat a seguir endavant amb aquest projecte de tesis doctoral.

Gràcies.



## Summary

Feed is one of the main production costs of beef cattle fattening due to the fact that in our country most of the sector works with an intensive fattening system in which diets have a high proportion of concentrate. The most used sources of vegetable protein that constitute part of the concentrate have high and very variable prices, affected by a global market. In this context, other protein sources, like camelina expeller and camelina meal, could be an alternative to the traditional sources of vegetable protein such as soybean meal or rapeseed meal. The general objective of this thesis has been to characterize and compare these two co-products obtained after the oil extraction of the camelina seed with conventional sources of vegetable protein, and to evaluate the effects of their inclusion in beef cattle diets. Chapter 3 shows the chemical composition, the *in vitro* digestibility and the *in situ* degradability of camelina expeller and camelina meal. The percentage of crude protein, the *in vitro* digestibility values and the *in situ* crude protein degradability of camelina expeller and camelina meal make them protein ingredients with potential to be used in the beef cattle diets, at a similar level to rapeseed meal 00. The next study evaluated the effect of the inclusion of camelina expeller and camelina meal as the main source of vegetable protein in beef cattle diets on ruminal fermentation and nitrogen metabolism using double-flow fermenters. This experiment shows that a diet formulated with camelina expeller or camelina meal does not show differences in digestibility, volatile fatty acids concentration or nitrogen metabolism compared with a diet formulated with rapeseed meal 00. Finally, Chapter 4 includes the results of the two *in vivo* experiments with 24 beef heifers. The first was a preference test study in which heifers were offered, simultaneously and with *ad libitum* access, a concentrate formulated with 14.6% of dry matter of camelina expeller as the main source

of protein, and a concentrate formulated with 15.8% of dry matter of rapeseed meal 00. The animals showed a clear preference for the concentrate with rapeseed meal 00 with a higher intake of fresh matter than the camelina expeller concentrate. The second *in vivo* experiment aimed to evaluate the effects of replacing rapeseed meal 00 with increasing levels of inclusion of camelina expeller on dry matter ingestion, digestibility, time spent eating and time spent ruminating. Although further field studies are necessary to ascertain average daily gain, feed efficiency, and carcass quality in the whole fattening process, the main conclusions of this doctoral thesis are that camelina expeller is an ingredient that could substitute up to 9 % of dry matter in beef cattle concentrates based on rapeseed meal 00, and that camelina meal could also be a promising partial protein substitute for rapeseed meal 00.

## Resum

L'alimentació és un dels principals costos de producció de les granges d'engreix de vedells, ja que al nostre país la gran majoria del sector treballa amb un sistema intensiu utilitzant dietes amb una elevada proporció de concentrat. Les principals fonts de proteïna vegetal que formen part d'aquest concentrat tenen preus elevats i molt variables, influenciats per la situació actual de mercat global. En aquest context, altres fonts de proteïna, com el tortó i la farina de camelina podrien ser una alternativa a les tradicionals fonts de proteïna vegetal com són la farina de soja o la farina de colza. L'objectiu general d'aquesta tesi va ser el de caracteritzar i comparar nutricionalment com a ingredients aquests dos coproductes resultants de l'extracció d'oli de la llavor de camelina amb els recursos convencionals de proteïna vegetal, i veure els efectes de la seva inclusió en pinsos per a vedells d'engreix. El Capítol 3 mostra la composició química, la digestibilitat *in vitro* i la degradabilitat *in situ* del tortó i la farina de camelina. La caracterització nutricional va posar de manifest que, pel percentatge de proteïna bruta i els resultats de digestibilitat *in vitro* i degradabilitat *in situ*, tant el tortó com la farina de camelina són ingredients proteics amb potencial per ser utilitzats en dietes de vedells d'engreix, a nivell similar a la farina de colza 00. El següent estudi va valorar l'efecte de la inclusió del tortó i la farina de camelina, com a principal font de proteïna vegetal en dietes de vedells d'engreix, sobre la fermentació ruminal i el metabolisme del nitrogen, emprant fermentadors de doble flux continu. Aquest experiment va mostrar que una dieta formulada amb tortó de camelina o farina de camelina no presenta diferències en digestibilitat, concentració d'àcids grassos volàtils o metabolisme del nitrogen en comparació amb una dieta formulada amb farina de colza 00. Finalment, en el Capítol 4 s'exposen els resultats de dos experiments *in vivo* realitzats amb 24 vedelles. El primer va

consistir en un test de preferència en el que les vedelles disposaven, simultàniament i amb accés *ad libitum*, d'un pinso formulat amb un 14,6% sobre matèria seca de tortó de camelina i d'un altre formulat amb un 15,8% de farina de colza 00, com a principals fonts de proteïna. Els animals van mostrar una clara preferència pel pinso formulat amb farina de colza 00 amb una major ingestió de matèria fresca. El segon experiment *in vivo* va buscar avaluar els efectes de reemplaçar la farina de colza 00 amb nivells creixents de tortó de camelina sobre la ingestió, la digestibilitat, i el temps que dedica l'animal a menjar i a remugar. La inclusió de fins a un 9% de matèria seca de tortó de camelina en pinsos per a vedells d'engreix no va afectar a la ingestió de matèria seca ni a la seva digestibilitat, en comparació a un pinso formulat només amb farina de colza 00. Les conclusions principals d'aquesta tesi doctoral són que el tortó de camelina és un ingredient que podria substituir parcialment, fins a un 9% de matèria seca, a la farina de colza 00 en pinsos de vedells d'engreix, tot i ser necessaris per completar la informació, estudis en un engreix complet que analitzin el guany mig diari, l'índex de conversió i la qualitat de canal, i que la farina de camelina és un ingredient proteic prometedor ja que els resultats obtinguts són equivalents als de la farina de colza 00.

## Resumen

La alimentación es uno de los principales costes de producción de las granjas de cebo de terneros, ya que en nuestro país la gran mayoría del sector trabaja con un sistema intensivo utilizando dietas con una elevada proporción de concentrado. Las principales fuentes de proteína vegetal que forman parte de este concentrado tienen precios elevados y muy variables, influenciados por la situación actual del mercado global. En este contexto, otras fuentes de proteína, como la torta y la harina de camelina podrían ser una alternativa a las tradicionales fuentes de proteína vegetal como son la harina de soja o la harina de colza. El objetivo general de esta tesis fue el de caracterizar y comparar nutricionalmente como ingredientes estos dos coproductos resultantes de la extracción de aceite de la semilla de camelina con los recursos convencionales de proteína vegetal, y ver los efectos de su inclusión en piensos para terneros de engorde. El Capítulo 3 muestra la composición química, la digestibilidad *in vitro* y la degradabilidad *in situ* de la torta y la harina de camelina. La caracterización nutricional puso de manifiesto que, por el porcentaje de proteína bruta y los resultados de digestibilidad *in vitro* y degradabilidad *in situ*, tanto la torta como la harina de camelina son ingredientes proteicos con potencial para ser utilizados en dietas de terneros de engorde, a nivel similar a la harina de colza 00. El siguiente estudio valoró el efecto de la inclusión de la torta y la harina de camelina, como principal fuente de proteína vegetal en dietas de terneros de engorde, sobre la fermentación ruminal y el metabolismo del nitrógeno, empleando fermentadores de doble flujo continuo. Este experimento mostró que una dieta formulada con torta de camelina o harina de camelina no presenta diferencias en digestibilidad, concentración de ácidos grasos volátiles o metabolismo del nitrógeno en comparación con una dieta formulada con harina de colza 00. Finalmente, en el Capítulo 4 se exponen los resultados de dos

experimentos *in vivo* realizados con 24 terneras. El primero consistió en un test de preferencia en el que las terneras disponían simultáneamente y con acceso *ad libitum*, de un pienso formulado con un 14,6% sobre materia seca de torta de camelina y de otro formulado con un 15,8% de harina de colza 00, como principales fuentes de proteína. Los animales mostraron una clara preferencia por el pienso formulado con harina de colza 00 con una mayor ingestión de materia fresca. El segundo experimento *in vivo* buscó evaluar los efectos de reemplazar la harina de colza 00 con niveles crecientes de torta de camelina sobre la ingestión, la digestibilidad, y el tiempo que dedica el animal a comer y a rumiar. La inclusión de hasta un 9% de materia seca de torta de camelina en piensos para terneros de engorde no afectó a la ingestión de materia seca ni a su digestibilidad, en comparación a un pienso formulado sólo con harina de colza 00. Las principales conclusiones de esta tesis doctoral son que la torta de camelina es un ingrediente que podría sustituir parcialmente, hasta un 9% de materia seca, a la harina de colza 00 en piensos de terneros de engorde, pese a ser necesarios para completar la información, estudios en un engorde completo que analicen la ganancia media diaria, el índice de conversión y la calidad de canal, y que la harina de camelina es un ingrediente proteico prometedor ya que los resultados obtenidos son equivalentes a los de la harina de colza 00.



# Índice general

<b>Capítulo 1: Introducción .....</b>	<b>24</b>
1.1 Introducción.....	25
1.2 Descripción de la planta .....	27
1.3 Cultivo de <i>Camelina sativa</i> .....	29
1.3.1 Desarrollo histórico del cultivo de <i>Camelina sativa</i> .....	29
1.3.2 Descripción del cultivo de <i>Camelina sativa</i> .....	30
1.3.3 Rendimientos productivos de <i>Camelina sativa</i> .....	31
1.3.4 Rotación de cultivos con <i>Camelina sativa</i> .....	32
1.3.5 Impacto ambiental del cultivo de <i>Camelina sativa</i> .....	33
1.4 Productos obtenidos del cultivo de <i>Camelina sativa</i> .....	33
1.4.1 Proceso de producción general.....	34
1.4.2 Semilla de camelina .....	35
1.4.3 Aceite de camelina .....	35
1.4.4 Torta de camelina .....	38
1.4.5 Harina de camelina.....	42
1.4.6 Cascarilla de camelina.....	44
1.4.7 Paja de camelina.....	45
1.5 Alimentación animal .....	45
1.6 Uso de los coproductos de camelina en la alimentación de bovinos .	49
1.7 Justificación del Proyecto de tesis doctoral.....	53
1.8 Bibliografía.....	56
<b>Capítulo 2: Hipótesis y objetivos .....</b>	<b>71</b>
<b><u>Capítulo 3: <i>In vitro</i> Digestibility, <i>In situ</i> Degradability, Rumen Fermentation and N Metabolism of Camelina Co-Products for Beef Cattle Studied with a Dual Flow Continuous Culture System.....</u></b>	<b><u>76</u></b>

**Capítulo 4: Effects of replacing canola meal with camelina expeller on intake, total tract digestibility, and feeding behavior of beef heifers fed high-concentrate diets ..... 79**

**Capítulo 5: Discusión general ..... 82**

5.1	Introducción.....	83
5.2	Proceso de caracterización.....	84
5.2.1	Caracterización nutricional .....	84
5.2.1.1	Composición química .....	84
5.2.1.2	Digestibilidad <i>in vitro</i> .....	91
5.2.1.3	Degradabilidad <i>in situ</i> .....	93
5.2.2	Fermentación ruminal y síntesis de proteína microbiana.....	97
5.2.3	Resultados comparativos entre la torta y la harina de camelina .....	99
5.2.4	Efectos de la incorporación de torta de camelina en dietas de terneros de engorde en condiciones <i>in vivo</i> .....	102
5.3	¿Qué papel podrían tener los coproductos de camelina en el sector del vacuno de carne?.....	106
5.4	Bibliografía.....	109

**Capítulo 6: Conclusiones ..... 115**

# Índice de Tablas

## **Capítulo 1: Introducción ..... 24**

Tabla 1.1 Producción mundial de las principales plantas oleaginosas ....	26
Tabla 1.2 Importación-Exportación mundial de harinas y tortas.....	26
Tabla 1.3 Rendimiento de semilla en diferentes localizaciones.....	29
Tabla 1.4 Media de valores de composición química de la torta de camelina en diferentes estudios .....	36

## **Capítulo 5: Discusión general ..... 82**

Tabla 5.1 Composición química de los ingredientes .....	86
Tabla 5.2 Digestibilidad de la materia seca (DMS) y digestibilidad de la materia orgánica (DMO) de las fuentes de proteína .....	92
Tabla 5.3 Digestibilidad de la materia seca (DMS) y digestibilidad de la materia orgánica (DMO) de las fuentes de fibra.....	92
Tabla 5.4 Parámetros de degradabilidad <sup>1</sup> y degradabilidad efectiva de la materia seca (DE) y de la proteína bruta (DEP).....	106

# Índice de Figuras

## **Capítulo 1: Introducción ..... 24**

Figura 1.1 <i>Camelina sativa</i> en flor .....	28
Figura 1.2 Campo de <i>Camelina sativa</i> .....	27
Figura 1.3 Proceso de producción de los productos de <i>Camelina sativa</i> .	29
Figura 1.4 Perfil de ácidos grasos de distintos aceites vegetales para la fabricación de biocombustible .....	36
Figura 1.5 Torta de camelina extrusionada .....	38
Figura 1.6 Harina de camelina molturada.....	43
Figura 1.7 Cascarilla de camelina.....	44

## **Capítulo 5: Discusión general ..... 82**

Figura 5.1. Perfil de aminoácidos de la torta y la harina de camelina .....	87
Figura 5.2. Curva de degradación de la materia seca de las fuentes fibrosas utilizadas en la técnica <i>in situ</i> .....	96
Figura 5.3. Curva de degradación de la proteína bruta de las fuentes fibrosas utilizadas en la técnica <i>in situ</i> .....	96
Figura 5.4 Resumen comparativo entre la torta de camelina y la harina de camelina.....	109
Figura 5.5 Evolución de la producción de carne de vacuno en España .....	106



## **Abreviaciones**

**AGV:** Ácidos grasos volátiles

**Ca:** Calcio

**Cl:** Cloro

**DDGS:** Granos solubles derivados de la destilería o del biocombustible

**DE:** Degradabilidad efectiva de la materia seca

**DEP:** Degradabilidad efectiva de la proteína bruta

**DMS:** Digestibilidad de la materia seca

**DMO:** Digestibilidad de la materia orgánica

**EB:** Energía bruta

**EE:** Extracto etéreo

**EMPS:** Eficiencia de síntesis de proteína microbiana

**FAD:** Fibra ácido detergente

**FB:** Fibra bruta

**FDA:** Food and Drug Administration

**FND:** Fibra neutro detergente

**MO:** Materia orgánica

**GMD:** Ganancia media diaria

**IC:** Índice de conversión

**IVIA:** Institut Valencià d'Investigacions Agràries

**LAD:** Lignina ácido detergente

**K:** Potasio

**Mg:** Magnesio

**MS:** Materia seca

**N:** Nitrógeno

**Na:** Sodio

**P:** Fósforo

**PB:** Proteína bruta

**PNA:** Polisacáridos no amiláceos

**S:** Azufre

# Abbreviations

**ADICP:** Acid detergent insoluble crude protein

**ADF:** Acid detergent fiber

**AOAC:** Association of Official Analytical Chemists

**AOCS:** American Oil Chemists' Society

**BW:** Body weight

**BVFA:** Branch-chained VFA

**CE:** Camelina expeller

**0CE:** Diet with a 0% of CE

**3CE:** Diet with a 3% of CE

**6CE:** Diet with a 6% of CE

**9CE:** Diet with a 9% of CE

**CED:** Camelina expeller diet

**CEEAH:** Institutional Animal Care and use Committee

**Cl:** Chlorine

**CM:** Camelina meal

**CMD:** Camelina meal diet

**CP:** Crude protein

**D:** Degradability

**DM:** Dry matter

**DMI:** Dry matter intake

**ED:** Effective degradability

**EE:** Ether extract

**EMPS:** Efficiency of microbial protein synthesis

**FEDNA:** Fundación Española para el Desarrollo de Nutrición Animal

**H:** Hydrogen

**HPLC:** High performance liquid chromatography

**N:** Nitrogen

**Na:** Sodium

**NDF:** Neutral detergent fiber

**NDICP:** Neutral detergent insoluble crude protein

**O:** Oxygen

**OM:** Organic matter

**RM:** Rapessed meal

**RMD:** Rapessed meal diet

**RUP:** Rumen undegradable protein

**SM:** Soybean meal

**SMD:** Soybean meal diet

**TMR:** Total mixed ration

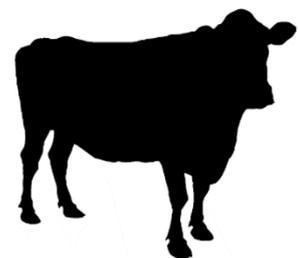
**VFA:** Volatile fatty acid



# Capítulo 1:

---

## Introducción



## 1.1 Introducción

La *Camelina sativa* es una planta oleaginosa de la familia de las brasicáceas especialmente interesante por el elevado contenido en aceite de su semilla (36-47%) (Przybylski, 2005), con alrededor del 70% de ácidos grasos poliinsaturados y valores altos en ácidos grasos n-3 (Rode, 2002).

Precisamente debido al elevado contenido en aceite de la semilla, el principal fin del cultivo de camelina es la obtención de aceite para poder procesarlo con el objetivo de obtener biocombustible. Este biocombustible, aparte de ser una fuente de energía renovable, puede ser sustituto de combustibles fósiles que tienen un mayor impacto medioambiental debido a que generan una mayor proporción de dióxido de carbono y más partículas suspendidas que los biocombustibles.

Una vez se ha extraído la gran mayoría del aceite de la semilla se obtienen como principales coproductos la torta y la harina de camelina que se diferencian entre sí por el método de extracción y el contenido restante de aceite. Ambos son productos que destacan por su contenido proteico pudiendo resultar interesantes para alimentación animal debido a la necesidad de encontrar alternativas a las principales fuentes de proteína vegetal utilizadas de forma más habitual.

En este sentido, en la actualidad la principal fuente de proteína destinada a consumo animal a nivel mundial es la harina de soja. A mucha distancia se encuentra la harina de colza como el segundo recurso proteico más utilizado en alimentación animal. En la Tabla 1.1 se puede ver la producción mundial de las principales plantas oleaginosas.

**Tabla 1.1** Producción mundial de las principales plantas oleaginosas (adaptado de FAO, 2018)

Productos obtenidos de oleaginosas	2016	2017	2018
Producción en millones de t			
Haba de soja	316,3	350,5	337,9
Semilla de colza	70,2	71,5	75,6
Semilla de algodón	37,6	39,8	43,4
Cacahuete	39,0	41,9	43,2
Semilla de girasol	43,6	50,1	49,7
Semilla de palma	14,5	16,2	17,2
Copra	5,1	5,2	5,7

De la misma forma que Europa, España es totalmente deficitaria tanto en producción de oleaginosas como en harinas y tortas derivadas de la extracción del aceite, y, por lo tanto, dependiente de países productores (mayoritariamente EEUU, Canadá, Argentina y Brasil) así como de los precios y el comercio internacional (Tabla 1.2).

**Tabla 1.2** Importación-Exportación mundial de harinas y tortas (adaptado de FAO, 2018)

Regiones	2013-2016		2017		2018	
	Imp	Exp	Imp	Exp	Imp	Exp
Millones de t						
África	5,8	1,1	5,8	1,1	5,9	1,1
América del Norte	5,1	16,3	5,1	16,4	5,3	17,8
América del Sur	5,5	49,1	5,2	51,5	5,4	51,8
América Central	4,0	0,2	4,3	0,2	4,3	0,2
Asia	35,2	14,2	37,7	14,0	38,5	15,0
Europa	30,3	7,9	30,4	8,9	31,4	8,7
Oceanía	3,3	0,3	3,7	0,2	3,9	0,2

Enfocando esta situación a los terneros de engorde, tema central de la tesis, es importante tener en cuenta que la mayoría de la producción en España se basa en

cebaderos intensivos en los que se alimenta a los animales con concentrado y paja. Este sistema hace que la alimentación sea el coste más importante representando el 56% de los costes en el cebo de mamonos y 37% en el de pasteros (MAGRAMA, 2009). Las fuentes de proteína en los concentrados, como son las harinas y tortas de soja, girasol o colza representan entre un 15% y un 20% de las materias empleadas para la fabricación de piensos.

En este punto cogen protagonismo nuevos ingredientes como la harina y la torta de camelina como posibles fuentes de proteína vegetal alternativas ya que podrían representar, en caso de poder ser utilizadas con buenos resultados en terneros de engorde, una alternativa más económica reduciendo los costes de alimentación. Además, podrían ser alternativas que impliquen menor dependencia de terceros países y que sean más sostenible que la harina de soja y de colza ya que se podrían obtener a nivel nacional o a nivel europeo.

## **1.2 Descripción de la planta**

La planta *Camelina sativa*, también conocida como falso lino, placer de oro, lino holandés o sésamo alemán, encuentra la etimología de su nombre en las palabras griegas “came” tierra y “lina” lino, haciendo referencia a que fue considerada una mala hierba para el cultivo del lino. Su epíteto “*sativa*” significa cultivo. La *Camelina sativa* es una planta de la familia de las Crucíferas o Brassicáceas como también lo es la colza. Tiene una semilla oleaginosa, siendo esta característica el principal interés para su cultivo en la actualidad.

Morfológicamente es una planta herbácea con un elevado grado de plasticidad con una altura de entre 65 y 110 cm (Berti et al., 2011), de crecimiento rápido, anual y de invierno. Los tallos son individuales, generalmente ramificados en la parte superior, lisos,

a veces con pelos simples y ramificados. Las hojas son alternas, sésiles, lanceoladas, enteras o ligeramente dentadas, lisas o escasamente peludas. Las inflorescencias son racimos alargados que llevan a pedicelos ascendentes. Las flores miden entre 5 y 7 mm de diámetro, en forma de tetrámeros de color amarillo claro o amarillo verdoso. Las vainas son coriáceas, en forma de pera, de 2-3 mm de largo y contienen una elevada cantidad de semillas oblongas, marrones y profundamente ranuradas (Francis et al., 2009). Las semillas son muy pequeñas, entre 0,7 y 1,5 mm, y con un peso de entre 0,8 y 1,8 g cada 1000 unidades dependiendo de la variedad y las condiciones de cultivo (Mirek 1981; Angelini et al., 1997; Zubr, 2003, 1997; Vollmann et al., 2007).

**Figura 1.1** *Camelina sativa* en flor



Dentro del mismo género *Camelina*, descrito por Heinrich J.N. Crantz en 1763, se encuentran 54 especies (solo 8 de las cuales están aceptadas) y multitud de variedades (Mirek, 1980). Su investigación genética se inició en Alemania durante la década de 1980 con la recolección y evaluación de germoplasma (Seehuber, 1984). La planta no ha sido aún objeto de extensos esfuerzos de selección y mejora, aunque están marcados como futuros objetivos de selección la calidad de la semilla (por ejemplo, la concentración de

ácido linolénico, ácido erúcico y ácido oleico, así como los niveles de glucosinolatos), la tolerancia al calor o las eficiencias de uso de agua y nitrógeno (N) (Iskandarov et al., 2014). Recientemente se están trazando mapas genéticos para rendimiento de semilla, contenido de aceite en la semilla y altura de la planta (Gehring et al., 2006).

En este sentido se está trabajando también en la generación de una planta transgénica mediante agrobacterias, con el objetivo central de diseñar las características del aceite de semilla (Kang y Snapp, 2011). En el Reino Unido se realizó un ensayo de campo con una planta modificada genéticamente (Usher et al., 2015) para producir semillas que acumulen mayores cantidades ácidos grasos polinsaturados de cadena larga omega-3.

### **1.3 Cultivo de *Camelina sativa***

#### **1.3.1 Desarrollo histórico del cultivo de *Camelina sativa***

Según excavaciones arqueológicas, diferentes especies del género *Camelina* (*Camelina sativa*, *Camelina microcarpa* y *Camelina linicola*) se cultivaban en el sudeste de Europa en el Neolítico tardío y ya eran cultivos bien conocidos en la Edad del Bronce (1500-400 a.C.) (Knorzer, 1978). Durante el Edad de Hierro, la semilla de *Camelina linicola* se plantaba junto con la de lino (*Linum usitatissimum*) y cereales, siendo parte de la dieta humana. Esta semilla era consumida principalmente en gachas y molida para transformarla en harina para producir pan (Hatt, 1937; Hjelmquist, 1979). Posteriormente, en la Edad Media, se cultivó esporádicamente sin ser un cultivo predominante (Knorzer, 1978; Neuss, 1978; Hjelmquist, 1979). Durante la primera mitad del siglo XX, se cultivaba en Francia, Bélgica, Holanda, los Balcanes y Rusia (Wacker, 1934; Pieczka, 1967; Musnický et al., 1967), llegando a ser considerado un cultivo de relevancia económica en la URSS (Gorjunova, 1954; Boev, 1956). En Suecia, la superficie cultivada

con *Camelina sativa* en 1951 ascendió a 1050 ha (Hammar, 1988). Actualmente se cultiva en Europa, Canadá y en el norte de EE.UU. (Francis et al., 2009). Su cultivo en España se inició de forma significativa en 2012 (FEDNA, 2015) y gracias a la adaptabilidad y resistencia de la planta está orientado sobre todo al aprovechamiento de terrenos de secano semiárido, fundamentalmente en terrenos de barbecho y representa una gran alternativa como cultivo de rotación con el cultivo del cereal en zonas de secano donde no existen alternativas de rotación suficientemente competitivas.

### **1.3.2 Descripción del cultivo de *Camelina sativa***

La planta se cultiva en el mismo período que los cereales de invierno, con siembras en Octubre-Noviembre y cosechas a finales de primavera o inicios de verano. Es un cultivo flexible que puede crecer con éxito bajo diferentes condiciones climáticas y condiciones de suelo, exceptuando los suelos muy arcillosos y orgánicos.

Para la siembra, según McVay y Lamb (2008), la tasa de semillas recomendada es de 5,6 kg/ha para un cultivo uniforme y denso, y la profundidad de la semilla no debe exceder el 1/4 de pulgada (Zubr y Matthaus, 2002).

**Figura 1.2** Campo de *Camelina sativa*



Una de las características más destacables del cultivo de *Camelina sativa* es que es relativamente resistente a la sequía porque tolera suelos secos y bajas precipitaciones. También es una planta de rápido crecimiento ya que en 85-100 días llega a la madurez, con crecimientos parecidos a los 80-121 días de la colza (Canola Council of Canada, 2019) y mucho más rápidos que los 120-170 días que necesita el girasol.

Sintim et al. (2016) sugirieron que, para lograr un equilibrio entre el rendimiento de la semilla, el contenido de aceite de semilla y la pérdida aceptable debido a la rotura, la planta debe cosecharse cuando el 75% de las silículas estén maduras.

Gracias a la adaptabilidad y robustez de este cultivo, la planta es capaz de crecer correctamente en suelos marginales pobres siempre que estén bien drenados. Estas características son ventajas que presenta el cultivo de esta planta respecto otros tipos de cultivos de plantas oleaginosas como la soja, el girasol o la colza, que no son adecuados en condiciones de baja humedad, baja calidad del suelo y concentración salina (Nolte, 2010). Se trata de un cultivo con bajos requerimientos que no necesita grandes cantidades de fertilizantes. De hecho, tiene baja respuesta al N, fósforo (P) y potasio (K) (McVay y Lamb, 2008), aunque las tasas de aplicación de N muy deficitarias pueden afectar al rendimiento de semillas, a los contenidos de proteína y de aceite (Agegnehu y Honermeier, 1997; Szczebiot, 2002; Zheljazkov et al., 2008).

### **1.3.3 Rendimientos productivos de *Camelina sativa***

Los rendimientos de semillas de *Camelina sativa* son de entre 1,5 y 3,0 t/ha (Przybylski, 2005). Una hectárea puede producir más de 370 l de aceite y 1 t de torta de camelina (Enjalbert y Johnson, 2011). A modo de comparación, la soja tiene unos rendimientos de entre 2,5 y 6,5 t/ha, según La Menza et al. (2017). La colza en Norte América tiene un rendimiento de 1,7 t/ha (FAO, 2014), pudiendo llegar a dar

rendimientos de hasta 5-7 t/ha en condiciones experimentales (Assefa et al., 2014; Harker et al., 2012).

En la Tabla 1.3 se pueden ver los diferentes rendimientos de semilla de *Camelina sativa* obtenidos en diversas condiciones.

**Tabla 1.3** Rendimiento de semilla en diferentes localizaciones (adaptada de Waraich et al., 2013)

País	Rendimiento Semilla (t/ha)	Referencia
Canadá	1,5	Plessers et al. (1962)
	1,3 (200 semillas m <sup>2</sup> )	Urbaniak et al. (2008)
	1,4 (300 semillas m <sup>2</sup> )	Urbaniak et al. (2008)
	1,5 (400 semillas m <sup>2</sup> )	Urbaniak et al. (2008)
Alemania	1,6 (cosecha temprana)	Marquad y Kuhlman (1986)
	1,1 (cosecha tardía)	Marquad y Kuhlman (1986)
	1,9	Agegnehu y Honermeier (1997)
Francia	2,8	Merrien et al. (1996)
Austria	2,2 (400 semillas m <sup>2</sup> )	Vollman et al. (2007)
Chile	2,3	Berti et al. (2011)

Volviendo al concepto de adaptabilidad de este cultivo y relacionándolo con el rendimiento, en un estudio realizado por Zanetti et al. (2017), en el que se testaban rendimientos en distintas localizaciones y en distintas condiciones, los rendimientos de semilla llegaron siempre a 1 t/ha hasta en las condiciones más limitantes (bajas precipitaciones, suelo pobre o temperaturas extremadamente altas durante la floración).

#### **1.3.4 Rotación de cultivos con *Camelina sativa***

En los últimos diez años, en los Estados Unidos se ha trabajado con *Camelina sativa* en rotación con maíz y soja (Lenssen et al., 2012; Dobre et al., 2014; Gesch et al., 2014; Berti et al., 2015; Chen et al., 2015). La planta de camelina como cultivo participante en la rotación, generalmente no afecta el rendimiento en semilla del cultivo

posterior (Shonnard et al., 2010) y se ha demostrado que incluso mejora el rendimiento de ciertos cultivos como el maíz, la soja y el trigo (Gesch et al., 2015). Además, los rendimientos económicos fueron mayores para el sistema de trigo en barbecho (Chen et al., 2015).

### **1.3.5 Impacto ambiental del cultivo de *Camelina sativa***

La planta de *Camelina sativa* muestra un buen potencial para sistemas agrícolas sostenibles. A menudo se cita en el ámbito de la agricultura orgánica debido a su compatibilidad con los sistemas que necesitan el mínimo trabajo (Przybylski, 2005). En este sentido, como se ha comentado anteriormente, es un cultivo con pocos requerimientos de suelo, con gran adaptabilidad y resistencia a situaciones climáticas adversas como son la sequía y el frío. Además, a diferencia de la colza y la mayoría de las brasicáceas, la planta de *Camelina sativa* es resistente a *Leptosphaeria maculans*, un hongo patógeno que genera importantes pérdidas en cultivos de esta familia (Putnam et al., 1993). Estas características permiten que se pueda trabajar en zonas en las que otros cultivos más exigentes no crecerían con garantías, permitiendo así el aprovechamiento agrícola de terrenos en condiciones más precarias. Por lo tanto, la planta de *Camelina sativa* es un cultivo de cobertura de invierno interesante (Gesch y Cermak 2011) ya que permite la obtención de recursos valiosos en zonas en las que el cultivo de otras plantas oleaginosas no era una actividad posible.

### **1.4 Productos obtenidos del cultivo de *Camelina sativa***

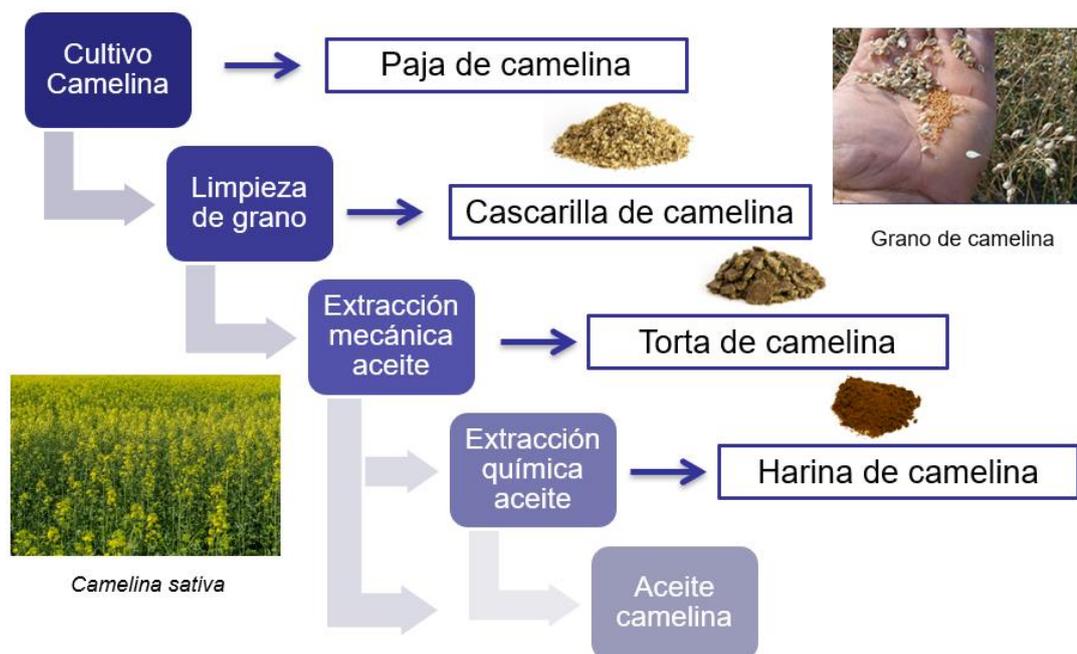
El cultivo de *Camelina sativa* tiene como principal objetivo la obtención de aceite para la producción de biodiesel. Además, debido a su contenido extremadamente alto en ácidos grasos poliinsaturados, las semillas de camelina y sus subproductos tienen un

potencial industrial considerable: alimentos, piensos, nutracéuticos, pinturas, colorantes, cosméticos, biocombustibles, etc. (Rode, 2002).

### 1.4.1 Proceso de producción general

Una vez realizada la cosecha se obtiene por un lado la paja de camelina y por otro el grano, siendo este último el principal objetivo del cultivo. Al grano, se le separa la cascarilla para obtener la semilla pura. Las semillas de Camelina contienen entre 36 y 47% de aceite (Przybylski, 2005), del cual se obtiene la gran mayoría durante una extracción física o mecánica con un prensado en frío o en caliente (Shukla et al., 2002; Zhao et al., 2014; Raczyk et al., 2015), siendo la torta de camelina el producto resultante una vez extraído el aceite. Debido a que el contenido en aceite de la torta de camelina es de entre el 10 y el 15 %, aún se puede someter a un segundo proceso de extracción de aceite, en este caso, mediante solventes. Una vez llevada a cabo una segunda extracción química de aceite, el producto resultante es la harina de camelina, con tan solo un 2-5 % de aceite. El proceso puede verse esquematizado en la Figura 1.3.

**Figura 1.3** Proceso de producción de los productos de *Camelina sativa*



De esta forma, después de la cosecha y posterior obtención del aceite se van obteniendo una serie de productos y coproductos: semilla de camelina, paja de camelina, cascarilla de camelina, aceite de camelina, torta de camelina y harina de camelina.

#### **1.4.2 Semilla de camelina**

La semilla de camelina contiene, según Zubr (2003), un 42,0% de aceite, un 43,6% de proteína bruta (PB) y un 14,5% de fibra bruta (FB) sobre materia seca (MS). Una gran parte del aceite son ácidos grasos poliinsaturados, hasta el 74%, de los que un 46% es ácido linolénico (Hurtaud y Peyraud, 2007). Otra característica destacable es el interesante perfil aminoacídico, principalmente por el contenido en arginina (Zubr, 2003). Sin embargo, la semilla de camelina contiene también factores anti nutricionales como los glucosinolatos y el ácido erúxico (Kramer et al., 1990; Mawson et al., 1994) que pueden afectar la digestión tras su consumo.

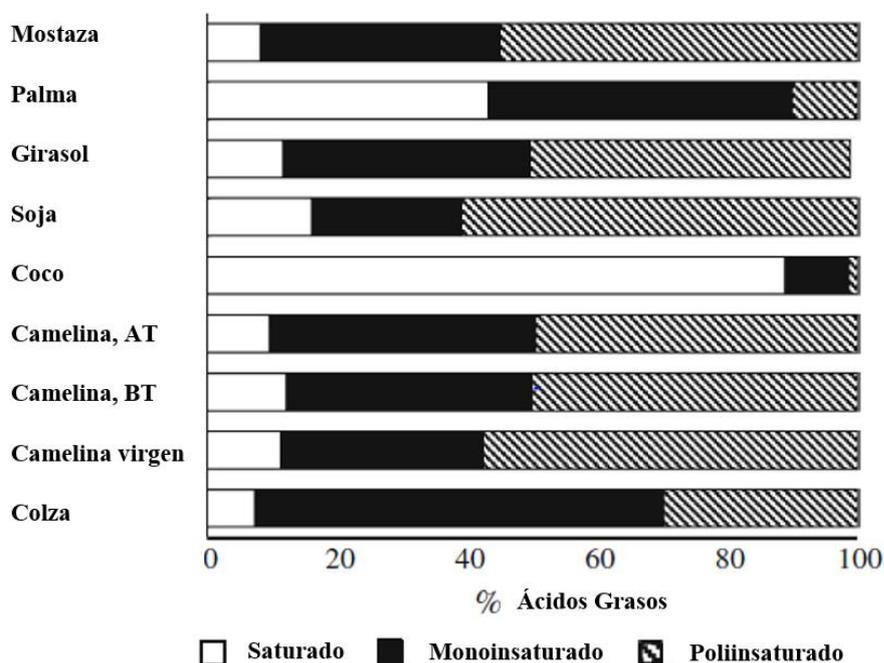
Puede haber mucha variación en la composición química de las semillas entre variedades de camelina, condiciones climáticas y tipo de suelo.

Su principal uso es para la posterior obtención de aceite, aunque también se ha utilizado entera para alimentación animal, como se comentará posteriormente.

#### **1.4.3 Aceite de camelina**

El aceite de camelina crudo tiene un color amarillo claro con un aroma y un sabor similar al brócoli (Crowley y Fröhlich, 1998). Contiene aproximadamente un 90% de ácidos grasos insaturados. Este patrón de ácidos grasos es el resultado de la abundancia de ácido oleico (12,8–14,7%), ácido linoleico (16,3–17,2%), ácido linolénico (36,2–39,4%) y ácido gadoleico (14,0–15,5%). Como se puede ver en la Figura 1.4, el aceite de camelina *sativa* presenta un elevadísimo porcentaje ácidos grasos polinsaturados en comparación con otras plantas oleaginosas.

**Figura 1.4** Perfil de ácidos grasos de distintos aceites vegetales para la fabricación de biocombustible (adaptada de Soriano y Narani, 2012).



AT: Extrusión a alta temperatura; BT: Extrusión a baja temperatura

El aceite de camelina se usaba tradicionalmente para consumo humano mezclado con aceite de colza (Breitenbath, 1806; Lobe, 1845; Ollech, 1884; Wacker 1934; Kbnemann, 1942; Neuss, 1978). Actualmente está demostrado que el aceite es aplicable en ensaladas, mayonesas, aderezos y helados ya que se puede cocinar con él, exceptuando si se utiliza para freír (Reenberg, 1994).

Debido a su extraordinaria pureza, el aceite de camelina se utilizaba para iluminación (Lobe, 1845; Ollech, 1884). Industrialmente el aceite se usaba también para la producción de jabones y barnices (Ollech, 1884; Mansfeld, 1986). Los efectos dermatológicos específicos de los ácidos grasos poliinsaturados (Nowak, 1985) hacen que el aceite de camelina sea adecuado para aplicaciones cosméticas, como aceites cosméticos, cremas y lociones para la piel.

Sin embargo, como se ha comentado anteriormente, la situación energética global hace que el uso del aceite de camelina se centre en la actualidad en la producción de biocombustible.

La popularidad del biodiesel como combustible alternativo ha crecido en los últimos años (Yusuf et al., 2011). Se puede producir a partir de aceites vegetales o grasas animales, mediante la transesterificación con alcohol en presencia de un catalizador. La elección de materias primas es diferente según el país, siendo la disponibilidad y el coste, los principales criterios. Por ejemplo, el aceite de colza y el aceite de girasol se utilizan comúnmente en Europa, el aceite de colza en Canadá, el aceite de palma en Malasia o el aceite de coco en Filipinas. Estados Unidos, que es el segundo mayor productor de biodiésel del mundo (Canakci y Sanli, 2008), está produciendo aproximadamente el 85% de su biodiesel a partir de aceite de soja. La creciente demanda de biodiesel y el elevado coste de las fuentes habituales de biodiesel, como resultado de la competencia con otras industrias y las exigencias agronómicas de los cultivos (calidad de suelos, condiciones climáticas o tipo de actividad agrícola), hacen que el cultivo de *Camelina sativa* sea realmente interesante debido a sus pocos requerimientos, adaptabilidad y resistencia (Soriano y Narani, 2012; Moser y Vaughn, 2010). Estos conceptos son vitales para la industria del biocombustible, si se tiene en cuenta que las materias primas representan entre el 80 y el 85 % del coste total de producción del biodiesel (Moser y Vaughn, 2010).

El principal problema del aceite de camelina para la producción de biocombustible es que, debido a su alto contenido en ácido linolénico, tiene un elevado grado de inestabilidad por oxidación y una temperatura inadecuada de inicio de precipitación. Estos inconvenientes limitan el uso del aceite de camelina sin tratar como biocombustible, aunque si se reduce el alto grado de insaturación y el peso molecular del aceite es una buena materia prima. En conclusión, según Fröhlich y Rice (2005) después de evaluar las

propiedades del biodiesel producido con camelina, aseguran que es un combustible aceptable, siempre y cuando se utilicen aditivos.

También se ha utilizado el aceite de camelina para la alimentación animal. Es interesante destacar el posible interés en acuicultura debido a su contenido en ácidos grasos poliinsaturados, pudiendo llegar a ser una alternativa al aceite de pescado (Ye et al., 2016).

#### **1.4.4 Torta de camelina**

La torta de camelina es el coproducto resultante después de la extracción mecánica del aceite de la semilla de camelina. La bibliografía no es concisa a la hora de caracterizar la torta de camelina. Esto se debe a dos motivos: la variabilidad del producto en sí, que depende tanto de la variedad de camelina como de las condiciones de cultivo y, sobre todo, del método de extracción. Entrando en algo más de detalle en cómo pueden afectar los métodos de extracción del aceite a la torta y la harina de camelina obtenidos finalmente (ésta última en caso de hacer una segunda extracción de aceite), se consideran como factores claves en la obtención del producto final: un pretratamiento de la semilla, el tamaño de la semilla de la variedad concreta de camelina, la temperatura, el disolvente utilizado en una segunda extracción de aceite o los parámetros de agitación (Atabani et al., 2013).

**Figura 1.5** Torta de camelina extrusionada



En la Tabla 1.4 se puede ver la composición química de la torta de camelina y la elevada variabilidad (Paula et al., 2019). Esta variabilidad puede provocar que no haya una nomenclatura precisa para referirse a este producto para el que se usan nombres como cake, meal o expeller (para no inducir a confusión se introducen los términos en lengua inglesa). Según Almeida et al. (2013), se considera torta de camelina a un producto obtenido después de una extracción física del aceite con aproximadamente el 35% de PB, 14% de extracto etéreo (EE), 10% de FB y 5 % de cenizas.

La harina de camelina sería el producto que se genera después de hacer una segunda extracción de aceite con solventes a la torta de camelina, dejando de esta manera un producto con menor cantidad de EE y una mayor proporción de PB. Basándonos en el NRC (2012), en semillas oleaginosas se considera que, si el aceite se expulsa mecánicamente de la semilla, el material residual se llama "expeller" (en castellano, torta). En cambio, el material residual que queda si el aceite ha sido extraído con disolvente de las semillas oleaginosas se llama "meal" (en castellano, harina).

**Tabla 1.4** Media de valores de composición química de la torta de camelina en diferentes estudios (adaptada de Paula et al., 2019).

Ítem	Media	Desviación estándar	Número de muestras
Composición química, %			
MS			
MS	92,2	0,99	6
MO	93,9	0,49	4
PB	41,9	6,19	7
FND	33,4	5,93	7
FAD	23,8	5,79	7
EE	7,03	2,87	4
Glucosinolatos, $\mu\text{mol/g}$	22,4	5,94	4
Perfil de minerales, % MS			
Ca	0,31	0,03	2

P	0,82	0,13	3
Mg	0,5	-	1
K	1,50	-	1
S	1,12	-	1
Na	0,01	-	1
Cl	0,2	-	1
<hr/>			
Perfil de aminoácidos, % del total de aminoácidos			
Alanina	2,81	0,71	4
Ácido aspártico	4,35	1,5	3
Cisteína	0,94	0,48	3
Ácido glutámico	7,60	3,08	3
Glicina	3,00	0,88	3
Prolina	2,98	0,86	3
Serina	2,81	0,78	3
Tirosina	0,78	0,65	4
Arginina	4,13	1,51	3
Histadina	1,72	0,48	4
Isoleucina	2,17	0,68	3
Leucina	3,24	1,14	4
Lisina	2,27	0,91	4
Metionina	1,08	0,31	4
Fenilalanina	2,27	0,91	4
Treonina	1,59	0,82	4
Valina	2,81	0,94	4

El principal uso de la torta de camelina es la alimentación animal debido al elevado contenido de aceite y de PB con un buen perfil de aminoácidos. Estas características la convierten en un ingrediente interesante para la industria ganadera debido a que no tan solo es un producto con un elevado contenido de proteína, sino que también es rico en energía.

La principal desventaja potencial de utilizar torta de camelina en dietas ganaderas es la presencia de factores anti nutricionales: glucosinolatos (en especial), ácido erúxico, ácido fítico, sinapina y taninos condensados.

Las plantas de la familia de las brasicáceas tienen contenidos moderados de glucosinolatos (Francis et al., 2009). En concreto, la semilla de camelina contiene entre 14,2 y 36,2  $\mu\text{mol/g}$  (Schuster y Kjaer, 1956) y la torta de camelina entre 14,5 y 23,4  $\mu\text{mol/g}$  (Mathaus y Zubr, 2000), mientras que la harina de colza, tiene un contenido entre 6,16  $\mu\text{mol/g}$  y 10,5  $\mu\text{mol/g}$  (Newkirk, et al., 2003). La glucocamelinina (10-methyl-sulfinyl-decyl-glucosinolate) constituye el 65% del total de glucosinolatos de la camelina según Schuster y Friedt (1998) siendo después los dos glucosinolatos mayoritarios el 9-methyl-sulfinyl-nonyl-glucosinolate y el 11-methyl-sulfinyl-undecyl-glucosinolate (Mathaus y Zubr, 2000). Hasta el momento, no se ha estudiado la toxicidad de estos tres principales glucosinolatos presentes en la camelina.

La toxicidad de los glucosinolatos en los animales se ha asociado a su hidrólisis enzimática que genera la formación de compuestos como tiocianatos, oxazolidinetonas y nitrilos. Estos compuestos interfieren con la absorción del yodo, la síntesis de hormonas tiroideas y producen problemas reproductivos y de crecimiento a la vez que limitan la productividad. Su presencia en la dieta tiene también importancia porque reduce la palatabilidad, sobre todo en aves, peces y cerdos (FEDNA, 2015).

La preocupación por el contenido de glucosinolatos llevó a la Unión Europea a emitir una directiva en el año 2002 (2002/32/EC) en la que se prohibió la inclusión de ingredientes con concentraciones elevadas de glucosinolatos para la alimentación animal. Sin embargo, después de hacer una evaluación con estudios detallados con animales de producción alimentados con harina de colza, la directiva de la UE de 2008 corrigió la

directiva anterior permitiendo el uso para alimentación animal de torta de camelina, así como de otros coproductos de *Camelina sativa*. Desde 2008, se establece que el limitante no es la concentración de glucosinolatos en el ingrediente, sino la cantidad total de glucosinolatos totales en la dieta del animal. Actualmente se permite la inclusión de hasta 1,5 mmol/Kg de glucosinolatos en piensos para animales monogástricos. Del mismo modo, la Food and Drug Administration (FDA) ha situado el límite de inclusión de torta de camelina recomendado para la formulación de dietas destinadas a ganado vacuno a un máximo de 100 g/kg de MS (Benz, 2009).

El porcentaje de ácido erúxico es de un 4-5% del contenido de aceite y junto a otros ácidos grasos de cadena larga, como el ácido gadoleico, es difícilmente metabolizable (FEDNA, 2015). El contenido de otros factores anti nutricionales como la sinapina oscila entre 2 y 4 mg/kg y el de los taninos (disminuyen la digestibilidad de la proteína) entre 1 y 2 mg/g (FEDNA, 2015).

#### **1.4.5 Harina de camelina**

La harina de camelina es el coproducto resultante después de la extracción mecánica y química del aceite de la semilla de camelina. Como se ha comentado en el apartado dedicado a la torta de camelina, se considera como harina de camelina al producto obtenido tras dos procesos consecutivos de extracción de aceite: una primera extracción física del aceite de camelina de la semilla y trabajando sobre el coproducto sólido (torta de camelina), una segunda extracción de aceite mediante solventes.

Basándonos en los pocos estudios que han determinado su composición química, y el anteriormente citado criterio para diferenciar torta y harina de los coproductos de plantas oleaginosas del NRC (2012), la harina de camelina debe presentar un mayor contenido relativo de PB, fibra neutro detergente (FND), fibra ácido detergente (FAD),

lignina ácido detergente (LAD) y cenizas, respecto a los valores de la torta de camelina, al extraerle su contenido de EE prácticamente en su totalidad.

**Figura 1.6** Harina de camelina molturada



Aunque nosotros hemos utilizado el término harina de camelina para el producto obtenido tras una extracción física del aceite, seguida de una con solventes, según el NRC (2012) también podría considerarse como harina de camelina un producto en el que sólo se ha realizado una extracción de aceite con solventes. Un concepto parecido, y que podría ser equivalente, es el utilizado por Brandao et al. (2018) que utiliza la nomenclatura “solvent-extracted camelina” en la que se somete a la semilla de camelina tan solo a una extracción química prácticamente total del aceite mediante solventes sin pasar por una extracción física de éste previamente. Según Avram et al. (2016), los parámetros óptimos para una extracción del aceite con n-hexano (solvente) de la semilla de camelina con la máxima eficiencia son 42,3°C de temperatura de extracción, una relación líquido/sólido de 5,8 ml/g y un tiempo de extracción de 1,9 h.

Debido a la falta de información y de estudios en los que se trabaja con harina de camelina con las características comentadas anteriormente, se ve claramente la necesidad de caracterizar como tal este producto.

La harina de camelina, pese a la falta de información, parece candidata a ser también un producto destinado a alimentación animal. En este caso, sobre todo destaca por su elevado contenido proteico que la hace teóricamente comparable a otras fuentes de proteína vegetal utilizadas actualmente como son: la harina de soja, la harina de colza o la harina de girasol. Visto el contexto global, en referencia al elevado precio y disponibilidad de las proteínas de origen vegetal tradicionales (Zagorakis et al., 2015), tanto la torta como la harina de camelina podrían ser recursos proteicos de mucho interés como fuente proteica. La situación del precio del aceite y de los combustibles a nivel global pueden influir en la disponibilidad de la harina de camelina debido a que si el precio del aceite es bajo someter a la torta de camelina a un segundo proceso de extracción de aceite podría no ser una operación económicamente rentable.

#### **1.4.6 Cascarilla de camelina**

La cascarilla de camelina se obtiene durante el descascarillado y limpieza del grano. Es una fuente de fibra de pequeño tamaño (la semilla de camelina es muy pequeña) aunque también aporta una pequeña cantidad de proteína y grasa del endospermo que queda adherido (FEDNA, 2015).

En la actualidad no hay estudios publicados en el que se utilice este coproducto obtenido durante la limpieza del grano de *Camelina sativa*.

**Figura 1.7** Cascarilla de camelina



#### **1.4.7 Paja de camelina**

El cultivo de *Camelina sativa* genera entre 1,8 y 5,0 t/ha de paja (Malhi et al., 2014). Tradicionalmente esta paja se usa como cama para animales en estabulación o como ingrediente que aporte fibra efectiva a rumiantes (aunque el aporte nutricional es muy pobre).

De la misma forma que en el caso de cualquier paja obtenida durante un cultivo, se puede utilizar como biomasa lignocelulósica para su posterior transformación en biocombustible después de un proceso de pirólisis.

### **1.5 Alimentación animal**

La composición química de la torta de camelina vista anteriormente, define a este coproducto como un ingrediente con un elevado contenido de PB y un perfil de aminoácidos similar al de la colza, con un destacable contenido en EE, muy variable en función del método de extracción, y con una elevada concentración de ácidos grasos poliinsaturados y monoinsaturados, en especial, de ácido linolénico, ácido linoleico y ácido oleico. También tiene un contenido de FND de entre el 25 y el 35 %, con una baja proporción de proteína ligada a la FND y la FAD (FEDNA, 2015; Paula et al., 2019). Por lo tanto, su elevado contenido energético y proteico hace que la torta de camelina pueda ser nutricionalmente un ingrediente interesante para la formulación de dietas para la alimentación animal.

En el caso de la harina de camelina, tal y como se ha comentado en el apartado anterior, consideramos que gracias a la segunda extracción de aceite el producto tendrá contenidos relativos más elevados de todos los componentes químicos, a excepción del EE que es extraído en forma de aceite, destacando entre ellos el porcentaje de PB. La falta

de información hace que sólo se pueda hacer una estimación de su composición química, así como de su posible potencial como fuente de proteína vegetal en alimentación animal.

Visto el potencial interés de ambos coproductos para su utilización en alimentación animal, debido a su composición química, en la parte restante de este apartado se citarán los estudios que han trabajado con estos ingredientes en diferentes especies animales.

En el caso del **porcino**, Flachowsky et al. (1997) trabajaron con hasta un 10% de torta de camelina en dietas de cebo de cerdos sin diferencias significativas, respecto a la dieta basal, en los resultados productivos y con una interesante modificación del perfil de ácidos grasos poliinsaturados en varios tejidos, por lo que su utilización puede ser una fuente para el enriquecimiento de la carne en ácidos grasos omega-3. En cambio, Smit y Beltranena (2017) detectaron que la ganancia media diaria (GMD), el índice de conversión (IC) y la ingestión decrecían linealmente a medida que aumentaba la inclusión de torta de camelina del 0% al 18% en sustitución de la harina de soja, aunque también observaron un incremento de los ácidos grasos n-3 en la grasa de los animales. Durante el transcurso de este estudio no se detectó ningún signo clínico o serológico de toxicidad relacionado con el consumo de torta de camelina. Siendo la digestibilidad un factor clave para la GMD, Almedia et al. (2013) en un estudio llegaron al 40% de inclusión de torta de camelina con cerdos canulados a nivel del íleon distal, según la técnica utilizada por Stein et al. (1998). Concluyeron que, aunque las dietas con torta de camelina obtuvieron en general valores inferiores de digestibilidad de la PB y de los aminoácidos a los mostrados por la dieta formulada con un 40% de inclusión de harina de colza, la torta de camelina puede ser incluida en dietas de cerdos en menores cantidades. En este mismo estudio, pese a que las concentraciones de glucosinolatos en las dietas de torta de camelina llegaron a unas concentraciones totales de hasta  $16,9 \mu\text{mol g}^{-1}$ , valores muy por encima

de los recomendados  $1,5 - 2 \mu\text{mol g}^{-1}$  (Tripathi y Mishra, 2007; Canola Council of Canada, 2009), no se observó un descenso del consumo de pienso con lo que interpretaron que la palatabilidad no se ve afectada a corto plazo (la metodología en este estudio no utilizaba condiciones de acceso al pienso *ad libitum*). Kahindi et al. (2014), viendo resultados parecidos de digestibilidad en animales también canulados, detectaron que el coeficiente de digestibilidad de la proteína bajaba al reemplazar concentrado de harina de soja y maíz por torta de camelina (dosificada al 20% de inclusión). Una posible alternativa para mejorar la digestibilidad de la torta de camelina en cerdos podría ser la adición de fitasas (500 FTU/Kg) que pueden incrementar la baja digestibilidad de la proteína en dietas de cerdos con un 20% de inclusión de torta de camelina (Kiarie et al. 2016; Adhikari et al. 2016). A nivel de destete, sustituciones de harina de soja por inclusiones por encima del 6% de torta de camelina hacen decrecer linealmente los valores productivos, así como la digestibilidad aparente de la MS, MO, energía bruta (EB), la ingestión de MS y la GMD, aunque de la misma forma que en el engorde, los animales incrementan el contenido de ácidos grasos n-3 en la canal (Smit y Beltranena, 2017). En cambio, Kim et al. (2017) trabajando también con lechones no vieron cambios en la energía digestible, la energía metabolizable y la energía neta calculada con una dieta con el 30% de inclusión de torta de camelina.

Trabajando con pollos **broilers**, Ryhanen et al. (2007) observaron que la inclusión del 5 – 10 % de torta de camelina en la dieta redujo de forma significativa el consumo y el crecimiento. Resultados parecidos a los que obtuvieron Pekel et al. (2009) que observaron que con un 10% de inclusión en dietas de broilers, la dieta con torta de camelina redujo el peso corporal a los 21 días, seguramente debido también a una reducción del consumo de pienso. En este caso, el IC no se vio afectado. Comparando específicamente la torta de camelina con la harina de colza, Thacker y Widyaratne (2012)

vieron que al sustituir progresivamente harina de colza por torta de camelina se redujo el crecimiento y el IC empeoró. Relacionado con el menor crecimiento, Acamovic et al. (1999) determinaron que la inclusión de torta de camelina reducía la digestibilidad del N y de la MS. Contrariamente a los estudios previamente citados, Aziza et al. (2010) trabajaron con dietas con un 10% de inclusión de torta de camelina sin efecto sobre el peso del animal. En referencia a la calidad de la carne, en este mismo estudio la cantidad ácidos grasos n-3 se vio incrementada respecto al tratamiento control a base de maíz y harina de soja.

En **gallinas ponedoras**, la inclusión de un 10% de torta de camelina en piensos no afectó a la producción de huevos, aunque niveles superiores de inclusión (15%) la redujeron (Cherian et al., 2009). Según FEDNA (2015), si se comparan los coeficientes de digestibilidad de la proteína y los aminoácidos de la torta y la harina de camelina con la de otros subproductos proteicos utilizados en la nutrición de gallinas, como pueden ser la harina de soja o la harina de colza, observamos que 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). La colza por su parte presenta valores similares a los de la camelina, entre un 25-27% para la harina y un 24-25% para la torta (FEDNA, 2015). De la misma forma que en el cerdo, la composición de la canal cambia con el uso de la torta de camelina. Cherian et al. (2009) demostraron que el contenido en ácidos grasos omega 3, ácido linolénico y ácido docosahexaenoico, en huevos aumenta a medida que se incrementa el contenido en torta de camelina, siempre ligado, por otro lado, a un aumento del riesgo de oxidación de estos ácidos grasos insaturados.

En dietas de **pavos**, la inclusión del 5 % de torta de camelina en la dieta no redujo el crecimiento de éstos (Frame y Petersen, 2007).

En **acuicultura**, la ganancia de peso del **salmón atlántico** (*Salmo salar*) se vio reducida al utilizar harina de camelina (extracción química del aceite) al 10% de inclusión en la dieta (Hixson et al., 2014), probablemente debido a las reducciones del consumo de pienso, según observaron Ye et al. (2016). Este último estudio muestra también una reducción del contenido de grasa y de proteína de la canal del animal. También muestra que hay afectaciones a nivel del intestino, con dosificaciones al 24% de harina de camelina (extracción química del aceite). En cambio, al trabajar con una inclusión del 20% de torta de camelina en dietas para **trucha** (*Oncorhynchus mykiss*), éstas no causaron efectos en el crecimiento de los animales (Bullerwell y Anderson, 2012).

Finalmente, la información disponible en **pequeños rumiantes** es muy escasa. Inclusiones del 12% de MS de torta de camelina incrementaron el contenido de ácidos grasos monoinsaturados y polinsaturados en la leche de oveja (Szumacher-Strabel et al. 2011), lo que puede ser interesantes para la elaboración de yogur. Las cabras muestran los mismos resultados en cuanto a aumento de insaturación de la leche (Pikul et al. 2014).

## **1.6 Uso de los coproductos de camelina en la alimentación de bovinos**

Aunque la bibliografía no es extensa, diversos estudios han trabajado con coproductos de camelina como ingredientes de dietas para bovinos para conocer los efectos sobre los rendimientos productivos, la fermentación ruminal, la digestibilidad y los posibles cambios metabólicos derivados de su uso.

La utilización de la torta de camelina en cantidades de 0,95 kg/día en un estudio realizado con terneras de carne por Moriel et al. (2011), no mostró diferencias en la ingestión de MS respecto a un concentrado a base de soja y maíz. La inclusión del 10% de MS de torta de camelina en dietas de terneras tampoco presentó diferencias en la ingestión de MS ni en la GMD de los animales respecto a dietas formuladas con el mismo

porcentaje de granos solubles derivados de la destilería (DDGS) y harina de lino, en otro estudio realizado por Lawrence et al. (2016). Grings et al. (2014), en otro estudio con terneras, comparando DDGS con torta de camelina dosificada a 0,7 kg/día, tampoco observaron diferencias entre tratamientos. En cambio, formulando un suplemento para terneras de carne con el 8,5% de MS de torta de camelina, Cappelozza et al. (2012) concluyeron que había una reducción de la ingesta de MS, en comparación con un suplemento de harina soja y maíz. En sintonía con este último estudio, Hurtaud y Peyraud (2007) encontraron un descenso en la ingestión de MS en vacas lactantes cuando se utilizaron, como suplemento de la dieta, tanto la semilla (620 g/día) como la torta (2kg/día) de camelina comparadas con un suplemento a base de harina soja.

Esta disminución de la ingestión, según la bibliografía, podría tener relación con el contenido en factores anti nutricionales de la *Camelina sativa* presente en las especies de la familia de las brassicáceas (Tripathi y Mishra, 2007). De entre ellos, los más determinantes son los glucosinolatos y el ácido erúico, como se ha comentado anteriormente. Actualmente las recomendaciones de inclusión de productos derivados de la semilla de camelina (semilla, torta o harina de camelina) en dietas para terneros de engorde de la FDA son de un máximo de un 10% de la ingesta diaria (Benz, 2009).

En el caso de utilizar aceite o semilla camelina también es común encontrar un descenso en la ingestión de MS (Lawrence et al., 2016). Por ejemplo, Bayat et al. (2015) detectaron menores consumos de MS en vacas lactantes cuando se utilizó aceite de camelina (60g/día) en las dietas, en comparación con la dieta control sin éste.

Según Lock y Shingfield (2004), la reducción de la ingestión de MS encontrada en algunos estudios podría estar asociada a la ingestión de aceites con un elevado contenido de ácidos grasos insaturados a los que se les atribuye un efecto negativo sobre

la degradabilidad de la MO en rumen y sobre la fermentación ruminal. Por lo tanto, la elevada concentración de ácidos grasos polinsaturados en los productos derivados de la semilla de camelina podría afectar a la capacidad de ingestión de grandes rumiantes, sobre todo en los que tienen un contenido elevado de aceite como serían la semilla, el aceite y la torta de camelina.

Ejemplos de la respuesta microbiana a estos productos, se pueden ver en el estudio de Hurtaud y Peyraud (2007), en el que la ingesta de torta de camelina a razón de 2 kg/d disminuyó la proporción molar de acetato y aumentó la proporción molar de propionato y valerato, en comparación con las vacas lecheras alimentadas con una dieta con un suplemento de harina de soja. En el caso de Brandao et al. (2018), trabajando con harina de camelina (con un producto obtenido solo con una extracción de aceite a base de solventes) en un estudio *in vitro* utilizando un sistema de cultivo de doble flujo continuo, también obtuvieron como resultado que reemplazar la mitad o totalmente la harina de colza de una dieta (20,6% MS de la ración) por harina de camelina disminuía linealmente la proporción molar de acetato y aumentaba la proporción molar de propionato. También observaron una disminución lineal de la digestibilidad de la FND a medida que aumentaba la sustitución de harina de colza por torta de camelina. En otro estudio *in vitro* utilizando la misma metodología, Brandao et al. (2018) llegaron a las mismas conclusiones en cuanto a la proporción de ácidos grasos volátiles (AGV), cuando se trabajó con la incorporación de semilla de camelina al 7,7 y 17,7 % de MS en las dietas.

Las diferencias en la fermentación ruminal y la digestibilidad de las dietas podrían deberse a los cambios encontrados en la flora bacteriana por Dai et al. (2017) en otro estudio *in vitro* con un sistema de doble flujo continuo, utilizando en este caso semilla de camelina como parte de la dieta. Tanto la semilla como la torta de camelina tienen en común elevados contenidos de EE con un perfil de ácidos grasos insaturados que podrían

influir sobre las poblaciones bacterianas, pudiendo afectar de esta manera a la fermentación ruminal y la digestibilidad de la dieta (Paula et al., 2019).

Por el contrario, en un experimento con terneras con un tratamiento con torta de camelina, Lawrence et al. (2016) no observaron alteraciones en los parámetros de fermentación ruminal como el pH, la concentración de amoníaco o la concentración total de AGV trabajando con un 10% de inclusión de MS de torta de camelina. La inclusión de aceite de camelina de hasta el 6% de MS tampoco tuvo influencia en la fermentación ruminal en vacas lactantes en los estudios citados anteriormente de Bayat et al. (2015) y Halmemies-Beaucher-Filleu et al. (2011). La degradabilidad efectiva ruminal de MS y de FND tampoco presentó diferencias en un estudio *in vivo* con terneros, cuando se alimentó a los animales con un suplemento al 8,5% de torta de camelina (Cappelloza et al., 2012). Estos resultados contradictorios pueden deberse a los diferentes niveles de inclusión de la torta, harina, aceite o semilla de camelina, a las etapas fisiológicas de los animales y a las diferencias entre las dietas utilizadas (Paula et al., 2019).

En cuanto a la influencia de la torta de camelina en la producción y las propiedades de la leche, Hurtaud y Peyraud (2007) observaron que las dietas con un 9,5% de MS de torta de camelina no tenían efecto sobre la producción total de leche ni sobre el nivel de proteína de ésta. En el mismo estudio observaron que el contenido total de grasa de la leche se veía reducido y había cambiado, con un perfil de ácidos grasos distinto. Los animales alimentados con torta de camelina en la dieta tenían una mayor proporción de ácidos grasos insaturados. Resultados parecidos, en concentraciones de ácidos grasos y aromas de la leche, se observaron con ovejas alimentadas con un 10% y un 20% de torta de camelina (Sokolinska et al., 2011). Estos cambios en la composición de ácidos grasos de la leche se pueden relacionar con los aumentos en plasma de ácido linolénico, ácido

oleico y ácido linoleico detectados por Moriel et al. (2011) y Cappelloza et al. (2012) en terneras de carne con dietas con torta de camelina.

## **1.7 Justificación del Proyecto de tesis doctoral**

La parte inicial de esta introducción ha pretendido dar una visión general de la planta *Camelina sativa*, de su ciclo productivo y los principales motivos que la convierten en un cultivo que puede resultar interesante por el elevado contenido en aceite de la semilla y la adaptabilidad y resistencia de la planta a condiciones meteorológicas, suelos pobres o enfermedades que para otras plantas oleaginosas serían demasiado adversas.

Una vez expuesto que la razón principal del cultivo de esta planta es la obtención de aceite y que durante su proceso de obtención se consiguen coproductos que pueden ser interesantes en alimentación animal, básicamente por su contenido en proteína, se presenta el marco en el que se sitúa esta tesis doctoral, el Proyecto RTC-2015-3265-5. En él, diferentes grupos de investigación han trabajado en la utilización de los coproductos de camelina como ingredientes para la alimentación de distintas especies, siendo en nuestro caso los terneros de engorde el eje central de esta tesis doctoral.

Como se ha podido leer en esta introducción, el factor determinante que motiva el Proyecto y el interés en la torta y la harina de camelina es el precio elevado y volátil de las principales fuentes de proteína vegetal, la dependencia del exterior del mercado europeo de soja y el impacto ambiental del transporte de éstas. Esta situación provoca una búsqueda de nuevos ingredientes, como podrían ser la torta y la harina de camelina, con un elevado contenido en proteína, que puedan ser alternativas reales a las fuentes proteicas comúnmente utilizadas en este momento y que puedan abaratar los costes de alimentación. Actualmente la base científica para poder trabajar con ambos productos no

es lo suficientemente extensa como para garantizar unos resultados óptimos y seguros en los factores clave a determinar para una posible utilización práctica a nivel de mercado.

La falta de información sobre la composición química de los coproductos de camelina de origen nacional hacía imprescindible empezar por su simple caracterización química. Por otra parte, hasta el momento no hay estudios disponibles que comparen la torta y la harina de camelina, por lo tanto, la posibilidad de trabajar con ambos coproductos ofrecía la oportunidad de poder compararlos tanto a nivel de caracterización nutricional como de utilización en dietas de terneros de engorde.

Los estudios realizados hasta el momento en bovino de carne sobre la utilización de la torta y la harina de camelina son limitados y en numerosos casos contradictorios debido a que trabajan con diferentes dosis, dietas y sistemas de producción, por lo que actualmente no hay suficiente información como para poder asegurar hasta qué punto y en qué forma se pueden usar estos coproductos en dietas para terneros de engorde sin afectar a los parámetros productivos. Por lo tanto, se hacía necesaria la aportación de datos que determinaran los límites de inclusión de los coproductos de camelina en dietas de terneros de engorde en condiciones intensivas, así como el estudio del efecto de los mismos sobre el animal. En el caso concreto de la cascarilla de camelina la falta de información llega hasta el punto de que no hay ningún trabajo publicado en el que se utilice esta fuente de fibra.

Por otro lado, siendo la torta y la harina de camelina coproductos que según bibliografía tienen características químicas similares a las de la harina de colza resultaba interesante su comparación como ingrediente individual y como parte de una dieta para terneros de engorde. De la misma forma se considera que como referencia de ingrediente

proteico, la harina de soja se hacía imprescindible al ser la fuente proteína vegetal más utilizada en alimentación de terneros de engorde.

## 1.8 Bibliografia

Acamovic, T., Gilbert, C., Lamb, K., Walker, K. C., 1999. Nutritive value of Camelina sativa meal for poultry. Brit. Poult. Sci., 40(5), S27–S41.

Adhikari, P. A., Heo, J. M., Nyachoti, C. M., 2016. Standardized total tract digestibility of phosphorus in camelina (*Camelina sativa*) meal fed to growing pigs without or phytase supplementation. Anim. Feed Sci. Technol., 214, 104-109.

Agegnehu, M., Honermeier, B. 1997. Effects of seeding rates and nitrogen fertilization on seed yield, seed quality and yield components of false flax (*Camelina sativa* Crtz.). Bodenkultur., 48, 15-21

Almeida, F. N., Htoo J. K., Thomson, J. K., Stein, H. H., 2013. Amino acid digestibility in camelina products fed to growing pigs., Can. J. Anim. Sci., 93, 335-343.

Atabani, A. E., Silitonga, A. S., Ong, H. C., Mahlia, T. M. I., Masjuki, H. H., Badruddin, I. A., Fayaz, H., 2013, Nonedible vegetable oils: A critical evaluation of oil extraction, fatty acid compositions, biodiesel production, characteristics, engine performance and emissions production, Renewable and Sustainable Energy Reviews., 18, 211–245.

Angelini, L.G., Moscheni, E., Colonna, G., Belloni, P., Bonari, E., 1997. Variation in agronomic characteristics and seed oil composition of new oilseed crops in central Italy. Ind. Crops Prod. 6, 313–323.

Avram, M., Stroescu, M., Stoica-Guzun, A., Florea, O., 2015. Optimization of the oil extraction from camelina (*Camelina sativa*) seeds using response surface methodology, Rev. Chim. (Bucharest), 66, 3, 417.

Aziza, A. E., Quezada, N., Cherian, G., 2010a. Feeding *Camelina sativa* meal to meat-type chickens: Effect on production performance and tissue fatty acid composition. *J. Appl. Poultry Res.*, 19, 157–168.

Aziza, A. E., Quezada, N., Cherian, G., 2010b. Antioxidative effect of dietary Camelina meal in fresh, stored or cooked broiler chicken meat. *Poult. Sci.*, 89, 2711–2718.

Bayat, A. R., Kairenius, P., Stefański, T., Leskinen, H., Comtet-Marre, S., Forano, E., Chaucheyras-Durand, F., Shingfield, K. J., 2015. Effect of camelina oil or live yeasts (*Saccharomyces cerevisiae*) on ruminal methane production, rumen fermentation, and milk fatty acid composition in lactating cows fed grass silage diets. *J. Dairy Sci.*, 98, 3166–3181.

Benz, S. A., 2009. Food and Drug Administration – Department of Health and Human Services. <http://agr.mt.gov/camelina/FDAletter11-09.pdf>.

Berti, M., Wilckens, R., Fischer, S., Solis, A., Johnson, B., 2011. Seeding date influence on camelina seed yield, yield components, and oil content in Chile. *Ind. Crops Prod.*, 34, 1358–1365.

Berti, M., Gesch, R., Johnson, B., Ji, Y., Seames, W., Aponte, A., 2015. Double-andrelay-cropping of energy crops in the northern Great Plains, USA. *Ind. Crops Prod.*, 75, 26–34.

Berti, M., Gesch, R., Eynck, C., Anderson, J., Cermak, S. 2016. Camelina uses, genetics, genomics, production, and management *Ind. Crops Prod.*, 94, 690-710

Boev, N. D., 1956. Novie raionirovanye sorta mashcnych kultur (Ruso). *Vestnik selskochozjajstvennoj nauki.*, 1466, 148.

Bonjean, A., Le Goffic, F., 1999. *Camelina sativa* (L.) Crantz: an opportunity for European agriculture and industry. *Oleag. Corps Gras Lipides.*, 6, 28-34

Brandao, V. L. N., Dai, X., Paula, E. M., Silva, L. G., Marcondes, M. I., Shenkoru, T., Poulson, S. R., Faciola, A. P., 2018. Effect of replacing calcium salts of palm oil with camelina seed at 2 dietary ether extract levels on digestion, ruminal fermentation, and nutrient flow in a dual-flow continuous culture system. *J. Dairy Sci.*, 101, 5046–5059.

Brandao, V. L. N., Silva, L. G., Paula, E. M., Monteiro, H. F., Dai, X., Lelis, A. L. J., Faccenda, A., Poulson, S. R., Faciola, A. P., 2018. Effects of replacing canola meal with solvent-extracted camelina meal on microbial fermentation in a dual-flow continuous culture system. *J. Dairy Sci.*, 101, 9028-9040.

Breitenbach, F., 1806. *Die Oel Oekonomie* (Alemán). Gebrudern Gadicke, Berlin, Ch. IV, 1055, 110

Lobe, W., 1845. *Om Olievaerterne, deres Dyrkning og Behandlng samt om Oliepresning og Oherensning* (Danés). Vorlagtaf den Ree'ske Boghandel, Aalborg, Denmark, 66673.

Canakci, M., Sanli, H., 2008. Biodiesel production from various feedstocks and their effects on the fuel properties. *J. Ind. Microbiol Biotechnol.*, 35, 431–441

Cappellozza, B. I., Cooke, R. F., Bohnert, D. W., Cherian, G, Carroll, J. A., 2012. Effects of camelina meal supplementation on ruminal forage degradability, performance, and physiological responses of beef cattle. *J. Anim. Sci.*, 90, 4042–4054.

Chen, C., Bekkerman, A., Afshar, R. K., Neill, K., 2015. Intensification of drylandcropping systems for bio-feedstock production: evaluation of agronomic and economic benefits of *Camelina sativa*. *Ind. Crops Prod.*, 71, 114–121.

Cherian, G., Campbell, A., Parker, T., 2009. Egg quality and lipid composition of eggs from hens fed *Camelina sativa*. *J. Appl. Poultry Res.*, 18, 143–150.

Colombini, S., Broderick, G. A., Galasso, I., Martinelli, T., Rapetti, L., Russo, R., Reggiani, R., 2014. Evaluation of *Camelina sativa* (L.) Crantz meal as an alternative protein source in ruminant rations. *J. Sci. Food Agric.*, 94, 736-743.

Crowley, J., Fröhlich, A., 1998. *Factors Affecting the Composition and Use of Camelina*. Citeseer, Dublin, Ireland.

Dai, X., Weimer, P. J., Dill-McFarland, K. A., Brandao, V. L. N., Suen, G., Faciola, A. P., 2017. Camelina Seed Supplementation at Two Dietary Fat Levels Change Ruminal Bacterial Community Composition in a Dual-Flow Continuous Culture System. *Front. Microbiol.*, 8, 2147.

Dobre, P., Jurcoane, S., Matei, F., Stelica, C., Farcas, N., Moraru, A. C., 2014. *Camelina sativa* as a double crop using the minimal tillage system. *Rom. Biotechnol. Lett.*, 19, 9191.

Enjalbert, J., Johnson, J., 2011. *Guide for Producing Dryland Camelina in Eastern Colorado*. Colorado State University Extension, Fort Collins, CO.

FEDNA, 2015. *Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos*, 3rd edition. C. De Blas, G. G. Mateos. P. García-Rebollar editors. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal., Madrid, 502.

Flachowsky G., Langbein T., Böhme H., Schneider A., Aulrich K., 2011. Effect of false flax expeller combined with short-term vitamin E supplementation in pig feeding

on the fatty acid pattern, vitamin E concentration and oxidative stability of various tissues. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 78, 187–195.

Francis, A., Warwick, S. I., 2009. The biology of Canadian weeds. 142. *Camelina albus* (Mill.) Thell. *C. microcarpa* Andr. ex DC; *C. sativa* (L.) Crantz. *Can. J. Plant Sci.*, 89, 791–810.

Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018. Oilcrops. [http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM\\_MARKETS\\_MONITORING/Oilcrops/Documents/Food\\_outlook\\_oilseeds/FO\\_Oilcrops.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM_MARKETS_MONITORING/Oilcrops/Documents/Food_outlook_oilseeds/FO_Oilcrops.pdf).

Frame, D. D., Petersen, M. B., 2007. Use of *Camelina sativa* in the diets of young turkeys. *J. Appl. Poultry Res.*, 16, 381–386.

Gehringer, A., Friedt, W., Lühs, W., Snowdon, R., 2006. Genetic mapping of agronomic traits in false flax (*Camelina sativa* subsp. *sativa*). *Genome.*, 49, 1555–1563.

Gesch, R., Archer, D., Berti, M., 2014. Dual cropping winter camelina with soybean in the northern Corn Belt. *Agron. J.*, 106, 1735–1745.

Gesch, R., Cermak, S., 2011. Sowing date and tillage effects on fall-seeded camelina in the northern Corn Belt. *Agron. J.*, 103, 980–987.

Gesch, R. W., Forcella, F., Papiernik, S., Eberle, C., Riedell, W., Lundgren, J., Nemeček, K., Weyers, S., Johnson, J. M.-F., Thom, M., 2015. Industrial oilseed bluster hub crop yields when used in rotation. In: 27th Annual AAIC Meeting, Lubbock, TX, 19.

Gesch, R., Archer, D., 2013. Double-cropping with winter camelina in the northern Corn Belt to produce fuel and food. *Ind. Crops Prod.*, 44, 718–725.

Grings, E. E., Sackey, A., Perry, G. A., 2014. Comparison of camelina meal and DDGS in the diet of replacement beef heifers. *J. Dairy Sci.*, 97(E-Suppl.), 725.

Gorjunova, A., 1954. Smescannye posevy cecevicvy s ruzikom (Ruso). Zemedelie., 2, 7, 74-78.

Halmemies-Beauchet-Filleau, A., Kokkonen, T., Lampi, A. M., Toivonen, V., Shingfield, K. J., Vanhatalo, A., 2011. Effect of plant oils and camelina expeller on milk fatty acid composition in lactating cows fed diets based on red clover silage. J. Dairy Sci., 94, 4413-4430.

Hamid, M. A., Islam, M. Z., Biswas, M., Begum, A. A., Saifullah, M., Asaduzzamn, M., 2002. Effect of method of sowing and seed rate on the growth and yield of soybean. Pak. J. Agric. Sci., 5, 1010-1013

Hammar, O., 1988. Nischgrodor, Massbrev-Mark Vaxter, (Sueco). Aktuell fran lantbruksuniversitetet, 365.

Hatt, G., 1937. Landbrug i danmarks oldtid (Danés). Udvalget for folkeoplysnings fremme, Copenhagen, 159.

Hixson, S. M., Parrish, C. C., Anderson, D. M., 2014. Full substitution of fish oil with camelina (*Camelina sativa*) oil, with partial substitution of fish meal with camelina meal, in diets for farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) and its effect on tissue lipids and sensory quality. Food Chem., 157, 51–61.

Hjelmquist, H., 1979. Beitrage zur Kenntnis der prhistorischen Nutzpflanzen in Schweden (Alemán), Opera Bot. 47: 34-57.

Hurtaud, C., Peyraud, J., 2007. Effects of feeding camelina (seeds or meal) on milk fatty acid composition and butter spread ability. J. Dairy Sci., 90, 5134–5145.

Iskandarov, U., Kim, H. J., Cahoon, E. B., 2014. Camelina: An Emerging Oilseed Platform for Advanced Biofuels and Bio-Based Materials. In: McCann M., Buckeridge

M., Carpita N. (eds) Plants and BioEnergy. Advances in Plant Biology, vol 4. Springer, New York, NY.

ITAB, 2009. La cameline. Alter Agri n°96 - Juillet-août, 24-26

Jalas, J., Suominen, J., Lampinen, R., 1996. Atlas Florae Europaeae Distribution of vascular plants in Europe. Vol. 11 (Cruciferae: Ricotia to Raphanus). Helsinki University Printing House, Helsinki, Finland., 310.

Kahindi, R., Woyengo, T., Thacker, P., Nyachoti, C., 2014. Energy and amino acid digestibility of camelina cake fed to growing pigs. Anim. Feed Sci. Technol., 193, 93–101.

Kang, J., Snapp, A. R., Lu, C., 2011. Identification of three genes encoding microsomal oleate desaturases (FAD2) from the oilseed crop *Camelina sativa*. Plant Physiol. Biochem., 49, 223–229.

Kiarie, E., Walsh, M. C., He, L., Velayudhan, D. E., Yin, Y. L., Nyachoti, C. M., 2016. Phytase improved digestible protein, phosphorous, and energy contents in camelina expellers fed to growing pigs. J. Anim. Sci., 94, 215-218.

Kim, J. W., Koo, B., Nyachoti, C. M., 2017. Digestible, metabolizable, and net energy of camelina cake fed to growing pigs and additivity of energy in mixed diets. J. Anim. Sci., 95, 4037-4044.

Knorzer, K. H., 1978. Evolution and spread of Gold of Pleasure (*Camelina sativa* S.L.). Ber. Deut. Bot. Ges., 91, 187-195.

Kramer, J. K., Farnworth, E. R., Johnston, K. M., Wolynetz, M. S., Modler, H. W., Sauer, F. D., 1990. Myocardial changes in newborn piglets fed sow milk or milk replacer diets containing different levels of erucic acid. Lipids., 25 (11), 729-737

Lawrence, R. D., Anderson, J. L., Clapper, J. A., 2016. Evaluation of camelina meal as a feedstuff for growing dairy heifers J. Dairy Sci., 99, 6215–6228

Lenssen, A. W., Iversen, W. M., Sainju, U. M., Caesar-TonThat, T., Blodgett, S. L., Allen, B. L., Evans, R. G., 2012. Yield, pests, and water use of durum and selected crucifer oilseeds in two-year rotations. Agron. J., 104, 1295–1304.

Lock, A. L., Shingfield, K. J., 2004. Optimising Milk Composition. BSAP Occas. Publ., 29, 107–188.

MAGRAMA, 2009. Estudio de la cadena de valor y formación de precios del sector de vacuno de carne. [https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/servicios/observatorio-de-precios-de-los-alimentos/EstudioVACUNO\\_14122009\\_tcm30-128349.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/servicios/observatorio-de-precios-de-los-alimentos/EstudioVACUNO_14122009_tcm30-128349.pdf)

Malhi, S., Johnson, E., Hall, L., May, W., Phelps, S., Nybo, B., 2014. Effect of nitrogen fertilizer application on seed yield, N uptake, and seed quality of *Camelina sativa*. Can. J. Soil Sci., 94, 35–47.

Mansfeld, R., 1986. Verzeichnis Landwirtschaftlicher und Ollech, V., 1884. Die Rückstände der ijlfabrikation als Futtermittel für die Landwirtschaftlichen Nutztiere (Alemán). Karl Scholtze, Leipzig, Germany, 128.

Mawson, R., Heaney, R. K., Zdunczyk, Z., Kozłowska, H., 1994. Rapeseed meal-glucosinolates and their antinutritional effects. Part 5. Animal reproduction. Nahrung 38, 588–598.

Matthäus, B., Zubr, J., 2000. Variability of specific components in *Camelina sativa* oilseed cakes. Ind. Crops Prod., 12, 9-18.

McVay, K., Lamb, P., 2008. Camelina Production in Montana. Montana State University Extension, Bozeman, MT.

Mirek, Z., 1980. Taxonomy and nomenclature of *Camelina pilosa* auct. Acta Soc.Bot. Pol. 49, 553–561.

Mirek, Z., 1981. Genus *Camelina* in Poland: taxonomy, distribution and habitats. Fragm. Flor. Geobot., 27, 445–507.

Moser, B. R., Vaughn, S. F., 2010. Evaluation of alkyl esters from *Camelina sativa* oil as biodiesel and as blend components in ultra low-sulfur diesel fuel. Bioresour. Technol., 101, 646–653.

Moriel, P., Nayigihugu, V., Cappellozza, B. I., Gonçalves, E. P., Krall, J. M., Foulke, T., Hess, B. W., 2011. Camelina meal and crude glycerin as feed supplements for developing replacement beef heifers. J. Anim. Sci., 89, 4314–4324.

Mulligan, G. A., 2002. Weedy introduced mustards (Brassicaceae) of Canada. Can. Field-Nat., 116, 623–631.

Musnický, C., Machnická, J., Adamczewski, K., 1967. Wspolrzedna uprawa lnianki jarej z innymi roslinami jarymi (Polaco). Pamietnik Pulawski., 25, 121- 155.

Neuss, K.H.K., 1978. Eintwicklung und Ausbreitung des Leindotters (*Camelina sativa*) (Alemán), Ber. Deutsch. Bot. Ges., 91, 1877195.

Nolte, K., 2010. Camelina. Univ. Arizona, Yuma Coop. Ext. Center, Crop of the week. <http://cals.arizona.edu/fps/sites/cals.arizona.edu/fps/files/cotw/camelina.pdf>

Nowak, G.A., 1985. Cosmetic Preparations. Vol. 1, Verlag H. Ziolkowsky KG, Augsburg, Germany, 351.

NRC. Nutrient Requirements of Dairy Cattle, 8th ed.; National Academy of Sciences: Washington, DC, USA, 2012.

Paula, E. M., da Silva, L. G., Brandao, V. L. N., Dai, X., Faciola, A. P., 2019. Feeding Canola, Camelina, and Carinata Meals to Ruminants. *Animals.*, 9, 704.

Pekel, A., Kim, J., Chapple, C., Adeola, O., 2015. Nutritional characteristics of camelina meal for 3-week-old broiler chickens. *Poult. Sci.*, 66, 371–378.

Pekel, Y., Patterson, P.H., Hulet, R. M., Acar, N., Cravener, T. L., Dowler, D. B., Hunter, J. M., 2009. Dietary camelina meal versus flaxseed with and without supplemental copper for broiler chickens: Live performance and processing yield. *Poult. Sci.*, 88, 2392–2398.

Pieczka, B., 1967. Potrzeby pokarmowe Inianki ozimej (Polaco). *Pamiętnik Pulawski*, 25, 100-119.

Provenza, F.D., 1995. Postingestive feedback as an elementary determinant of food preference and intake in ruminants. *J. Range Manage.*, 48, 2-17.

Przybylski, R., 2005. Flax oil and high linolenic oils. In: *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*, Sixth Edition, John Wiley & Sons, Inc.

Putnam, D. H., Budin, J. T., Filed, L. A., Breene, W. M., 1993. A promising low input oilseed. *New Crops. J.*, 314–322.

Raczyk, M., Popis, E., Kruszewski, B., Ratusz, K., Rudzińska, M., 2015. Physicochemical quality and oxidative stability of linseed (*Linum usitatissimum*) and camelina (*Camelina sativa*) cold-pressed oils from retail outlets. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 118, 834–839.

Reenberg, S., 1994. Provningsrapport (Danés). Forbrugerstyrelsen, Copenhagen, 6.

Rode, J., 2002. Study of autochthon *Camelina sativa* (L.) crantz in Slovenia. J. Herbs Spices Med. Plants 9, 313–318.

Ryhanen, E. L., Pettila, S., Tupasela, T., Valaja, J., Eriksson, C., Larkka, K., 2007. Effect of *camelina sativa* expeller cake on performance and meat quality of broilers. J. Sci. Food Agric., 87, 1489-1494

Seehuber, R., 1984. Genotypic variation for yield-traits and quality-traits in poppy and false flax. Fette Seifen Anstrichm. 86, 177–180.

Shonnard, D. R., Williams, L., Kalnes, T. N., 2010. Camelina-derived jet fuel and diesel: sustainable advanced biofuels. Environ. Prog. Sustain. Energy., 29, 382–392.

Shukla, V. K. S., Dutta, P. C., Artz, W. E., 2002. Camelina oil and its unusual cholesterol content. J. Am. Oil. Chem. Soc., 79, 965-969

Sintim, H. Y., Zheljaskov, V. D., Obour, A. K., Garcia y Garcia, A., Foulke, T. K., 2016. Evaluating agronomic responses of camelina to seeding date under rain-fed Conditions. Agron. J., 108, 349–357.

Smit, M. N., Beltranena, E., 2017a. Effects of feeding camelina cake to weaned pigs on safety, growth performance, and fatty acid composition of pork. J. Anim. Sci., 95, 2496-2508.

Smit, M. N., Beltranena, E., 2017b. Increasing dietary inclusions of camelina cake fed to pigs from weaning to slaughter: Safety, growth performance, carcass traits, and n-3 enrichment of pork. J. Anim. Sci., 95, 2952-2967.

Sokolinska, D. C., Majcher, M., Pikul, J., Bielinska, S., Czauderna, M., Wojtowski, J., 2011. The effect of *Camelina sativa* cake diet supplementation on sensory and volatile profiles of ewe's milk. Afr. J. Biotechnol., 10, 7245-7252

Soriano, N. U., Narani, A., 2012. Evaluation of biodiesel derived from *Camelina sativa* oil. J. Am. Oil Chem. Soc. 89, 917–923.

Szczebiot, M., 2002. Effect of mineral fertilization on yielding of spring false flax and crambe. Rosl Oleiste. 23, 141-150

Thacker, P., Widyaratne, G., 2012. Effects of expeller pressed camelina meal and/or canola meal on digestibility, performance and fatty acid composition of broiler chickens fed wheat–soybean meal-based diets. Arch. Anim. Nutr., 6, 5.

Terramax Corporation, 2015. Research and crop development. [www.terramaxseeds.com](http://www.terramaxseeds.com)

Tripathi, M. K., Mishra, A. S., 2007. Glucosinolates in animal nutrition: A review. Anim. Feed Sci. Technol., 132, 1–27.

Urbaniak, S. D., Caldwell, C. D., Zheljzkov, V. D., Lada, R., Luan, L., 2008. The effect of seeding rate, seeding date and seeder type on the performance of *Camelina sativa* L. in the Maritime Provinces of Canada. Can. J. Plant. Sci., 88, 501-508

Usher, S., Haslam, R. P., Ruiz-Lopez, N., Sayanova, O., Napier, J. A., 2015. Field trial evaluation of the accumulation of omega-3 long chain polyunsaturated fatty acids in transgenic *Camelina sativa*: making fish oil substitutes in plants. Metab. Eng. Commun., 2, 93-98.

Vollmann, J., Moritz, T., Kargl, C., Baumgartner, S., Wagenristl, H., 2007. Agronomic evaluation of camelina genotypes selected for seed quality characteristics. Ind. Crops Prod., 26, 270–277.

Wacker, J., 1934. Die Glfriichte Anbau, Pflege und Verwertung (Alemán). Verlagsbuchhandlung Paul Parey, Berlin, 31-33.

Ye, C. L., Anderson, D. M., Lall, S. P., 2016. The effects of camelina oil and solvent extracted camelina meal on the growth: carcass composition and hindgut histology of Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr in freshwater. *Aquaculture.*, 450, 397–404.

Yusuf, N. N. A. N., Kamarudin, S. K., Yaakub, Z., 2011. Overview on the current trends in biodiesel production. *Energy Convers Manage.*, 52, 2741–2751

Zagorakis, K., Liamadis, D., Milis, C., Dotas, V., Dotas, D., 2015. Nutrient digestibility and *in situ* degradability of alternatives to soybean meal protein sources for sheep. *Small Rumin. Res.*, 124, 38–44.

Zanetti, F., Eynck, C., Christou, M., Krzyżaniak, M., Righini, D., Alexopoulou, E., Stolarski, M. J., Van Loo, E.N., Puttick, D., Monti, A., 2017. Agronomic performance and seed quality attributes of Camelina (*Camelina sativa* L. crantz) in multi-environment trials across Europe and Canada *Industrial Crops & Products.*, 107, 602–608

Zhao, X., Wei, L., Julson, J., Huang, Y., 2014. Investigated cold press oil extraction from non-edible oilseeds for future bio-jet fuels production. *J. Sustain. Bioenergy Syst.*, 4, 199.

Zheljazkov, V. D., Vick, B. A., Ebelhar, M. W., Buehring, N., Baldwin, B. S., Astatkie, T., Miller, J. F., 2008. Yield, oil content, and composition of sunflower grown at multiple locations in Mississippi. *Agron. J.*, 100, 635–642

Zubr, J., 1997. Oil-seed crop: *Camelina sativa*. *Ind. Crop. Prod.*, 6, 113–119.

Zubr, J., Matthaus, B., 2002. Effects of growth conditions on fatty acids and tocopherols in *Camelina sativa* oil. *Ind. Crops Prod.*, 15, 155–162.

Zubr, J., 2003. Qualitative variation of *Camelina sativa* seed from different locations. Ind. Crops Prod., 17, 161–169.



# Capítulo 2:

---

## Hipótesis y objetivos



Esta tesis doctoral se enmarca dentro del Proyecto RTC-2015-265-5 financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad, cuyo principal objetivo fue el de valorizar la *Camelina sativa* como cultivo y la torta y la harina de camelina como coproductos para la alimentación animal.

Una vez especificados, durante la introducción, el valor como cultivo de la planta *Camelina sativa*, la proximidad filogenética a la colza al ser una planta de la misma familia (*Brassicaceae*) y el potencial que presentan sus coproductos como fuentes de proteína vegetal en alimentación animal, **la principal hipótesis** de la tesis doctoral fue que:

**La torta y la harina de camelina podían ser potenciales sustitutos parciales o totales de otras fuentes de proteína vegetal más comúnmente utilizadas en dietas de terneros de engorde.**

El **objetivo general** de la tesis doctoral fue pues el de caracterizar y comparar nutricionalmente como ingredientes, la torta y la harina de camelina con los recursos convencionales de proteína vegetal y ver los efectos de su integración en dietas para terneros de engorde.

Buscando responder al objetivo general, se plantearon los siguientes **objetivos específicos**:

1. Caracterizar nutricionalmente la torta y la harina de camelina.
2. Estudiar los efectos de la incorporación de la torta y la harina de camelina como ingredientes en dietas para terneros en la fase de engorde en un sistema *in vitro* de fermentadores de doble flujo continuo.

3. Evaluar la ingestión en terneras de una dieta formulada con torta de camelina como principal fuente de proteína comparada con una dieta formulada con harina de colza 00 ofrecidas ambas de forma simultánea.
4. Determinar los efectos de diferentes niveles de inclusión de torta de camelina en sustitución a la harina de colza en una dieta para terneras en la fase de engorde sobre la ingestión, la digestibilidad, el comportamiento de selección por tamaño de partícula y el tiempo dedicado a comer y a rumiar.

Para alcanzar estos objetivos se realizaron los siguientes **estudios experimentales**:

En el **Capítulo 3** se exponen los resultados de la caracterización nutricional de la torta y la harina de camelina, comparándolas con las principales fuentes proteicas de origen vegetal. La caracterización se realizó mediante la determinación de su **Composición química**, de su **Digestibilidad *in vitro*** y su **Degradabilidad *in situ*** en bolsas de nylon. En el mismo capítulo, se describen y se discuten los resultados del estudio de los efectos de la incorporación de torta y harina de camelina como principal ingrediente proteico en dietas para terneros de engorde, en comparación con dietas formuladas con harina de soja 44 y harina de colza 00, sobre la fermentación ruminal y el metabolismo nitrogenado estudiados en un **Sistema *in vitro* de fermentadores de doble flujo continuo**.

En el **Capítulo 4**, se describen y discuten los resultados de dos experimentos *in vivo* realizados con terneras en la fase de engorde. En el **Test de libre elección** se comparó la ingestión registrada en las terneras al ofrecerles simultáneamente una dieta formulada con torta de camelina, como principal fuente de proteína, y otra formulada con harina de colza. Finalmente, en el experimento de **Sustitución parcial de harina de colza por torta de camelina** efectuado con terneras en la fase de cebo, se evaluaron los efectos de

la incorporación de diferentes niveles de inclusión de la torta de camelina en sustitución de la harina de colza sobre la ingestión, la digestibilidad, la ingestión por tamaño de partícula, la selección por tamaño de partícula y el tiempo dedicado a comer y a rumiar.



## Capítulo 3:

---

*In vitro* Digestibility, *In situ*  
Degradability, Rumen Fermentation  
and N Metabolism of Camelina Co-  
Products for Beef Cattle Studied with  
a Dual Flow Continuous Culture  
System



**“*In vitro* Digestibility, *In situ* Degradability, Rumen Fermentation and N Metabolism of Camelina Co-Products for Beef Cattle Studied with a Dual Flow Continuous Culture System”**

Salas, H.\*, Castillejos, L.\*, López-Suárez\*, M., Ferret, A\*. 2019.

\*Animal Nutrition and Welfare Service (SNIBA), Department of Animal and Food Science, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra, Spain

Publicado en la revista *Animals*,  
el 3 de Diciembre de 2019, 9(12), 1079

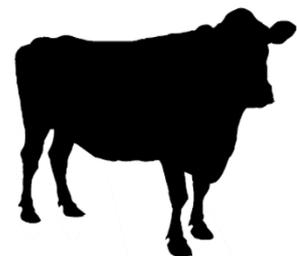
<https://doi.org/10.3390/ani9121079>



## **Capítulo 4:**

---

Effects of replacing canola meal with camelina expeller on intake, total tract digestibility, and feeding behavior of beef heifers fed high-concentrate diets



**“Effects of replacing canola meal with camelina expeller on intake, total tract digestibility, and feeding behavior of beef heifers fed high-concentrate diets”**

Salas, H.\*, Castillejos, L.\*, Faturi, C.†, Ferret, A\*. 2020.

\* Animal Nutrition and Welfare Service (SNIBA), Department of Animal and Food Science, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra, Spain

† Instituto da Saúde e Produção Animal, Universidade Federal Rural da Amazônia, 66.077-830 Belém, Pará, Brazil

Publicado en la revista Translational Animal Science, el 29 de Abril de 2020, Volume 4, Issue 2, 922-932

<https://doi.org/10.1093/tas/txaa50>



# Capítulo 5:

---

## Discusión general



## 5.1 Introducción

En esta tesis doctoral se han caracterizado principalmente dos coproductos derivados de la obtención de aceite de la semilla de *Camelina sativa* para su potencial uso como fuentes de proteína vegetal en alimentación de terneros de engorde: la torta y la harina de camelina. Además, hemos tenido ocasión de valorar como recurso fibroso no forrajero la cascarilla de camelina, ingrediente del que los resultados de su caracterización no se han incluido en los capítulos anteriores pero que serán expuestos en éste.

En esta discusión general se analizará el proceso de caracterización en el que se ha comparado la torta y la harina de camelina, como recursos proteicos, con las principales fuentes de proteína vegetal utilizadas actualmente en alimentación de terneros de engorde. Se trabajó con harina de soja 44%, como principal fuente de proteína para la formulación de dietas para terneros de engorde, con harina de colza 00, como segundo ingrediente proteico más utilizado a nivel mundial, y con las harinas de girasol 28% y 36% como recursos proteicos ampliamente utilizados a nivel nacional (en especial la harina de girasol 28% debido a su menor precio respecto a la harina de girasol 36% que es más común en dietas de vacas de producción lechera). De la misma forma que con la cascarilla de camelina, los datos obtenidos de ambas harinas de girasol no aparecen en los artículos publicados y se describen en la discusión general. La cascarilla de camelina se comparará en este apartado con otra fuente de fibra no forrajera como es la cascarilla de soja (utilizada de forma habitual en formulación de dietas de engorde). Se analizarán los motivos que nos han llevado a decidir qué ingredientes eran seleccionados para ser utilizados en cada etapa de la caracterización y comparación con otros productos.

Como se ha comentado, la mayoría de los resultados han quedado plasmados en los Capítulos 3 y 4 de esta tesis. Los restantes, serán presentados, contextualizados y discutidos en este apartado.

Al considerar el hecho de que por primera vez se ha comparado la torta y la harina de camelina como ingredientes en dietas para terneros de engorde, se ha dedicado un apartado específico a la comparación de los resultados obtenidos en ambos coproductos.

Finalmente, el último punto de la discusión busca integrar los nuevos matices que aporta la investigación realizada durante esta tesis doctoral con la realidad del sector del bovino de carne. El principal objetivo de este punto es el de analizar qué valor tienen y qué valor potencial pueden tener la torta y la harina de camelina para la alimentación de terneros de engorde.

## **5.2 Proceso de caracterización**

En este apartado aparecen, en orden de ejecución, todas las fases u objetivos que se han cumplido durante la tesis doctoral: caracterización nutricional, fermentación ruminal y síntesis de proteína microbiana, y estudio *in vivo*. También hay un apartado dedicado a la comparación entre los resultados de la torta y la harina de camelina.

### **5.2.1 Caracterización nutricional**

En esta primera fase de la caracterización la torta, la harina y la cascarilla de camelina se estudian como ingredientes, y está compuesta por la determinación de la composición química, de la digestibilidad *in vitro* y de la degradabilidad *in situ*.

#### **5.2.1.1 Composición química**

Debido a la escasez de datos sobre la composición química de los coproductos de camelina obtenidos en España se decidió analizar su composición química como punto de partida. Los estudios realizados han utilizado dos partidas de dos años consecutivos (2015-2016) de torta y harina de camelina y una partida de cascarilla de camelina (2015). Como referencia y punto de comparación, también se determinó la composición química de las fuentes de proteína vegetal más utilizadas como ingredientes en dietas para ganado

bovino: harina de soja 44%, harina de colza 00, harina de girasol 36% y harina de girasol 28% (Tabla 5.1). Como fuente de fibra, se realizó el mismo proceso con la cascarilla de soja.

En esta tabla, en la que se muestra la composición química de todos los ingredientes utilizados, es interesante remarcar que durante esta tesis doctoral se ha considerado como torta de camelina al producto obtenido tras una extracción física del aceite de camelina con unos valores de EE entre un 7-15 % y un 30-40 % de PB, y como harina de camelina el producto obtenido después de una extracción física y química del aceite de camelina con unos valores inferiores al 5% de EE y superiores al 35% de PB. Como se comenta en la introducción, la bibliografía no tiene un criterio estándar para definir ambos coproductos, cosa que induce a cierta confusión. Nuestro criterio para escoger la nomenclatura se ha basado en dos factores: el método de obtención del producto y la composición química. Basándonos en el NRC (2012), trabajando con semillas oleaginosas, si el aceite se expulsa mecánicamente de la semilla, el material residual se denomina torta (expeller). Si el aceite ha sido extraído con disolvente de las semillas oleaginosas se utiliza el término harina (meal) para el producto resultante. Los valores propuestos de composición química de la torta y la harina de camelina están basados en los datos obtenidos durante esta tesis doctoral, siempre apoyados y acotados por los datos de la bibliografía (Paula et al., 2019; Almeida et al., 2013; Brandao et al., 2018; Ye et al., 2016; FEDNA, 2015).

Buscando completar la información sobre la composición química dada en los capítulos anteriores y durante este apartado, en la Figura 5.1 se puede observar el contenido aminoacídico de la torta y la harina de camelina gracias a los resultados obtenidos por las investigadoras del Institut Valencià d'Investigacions Agràries (IVIA) dentro del Proyecto-RTC-2015-3265-5 (Cerisuelo, comunicación personal).

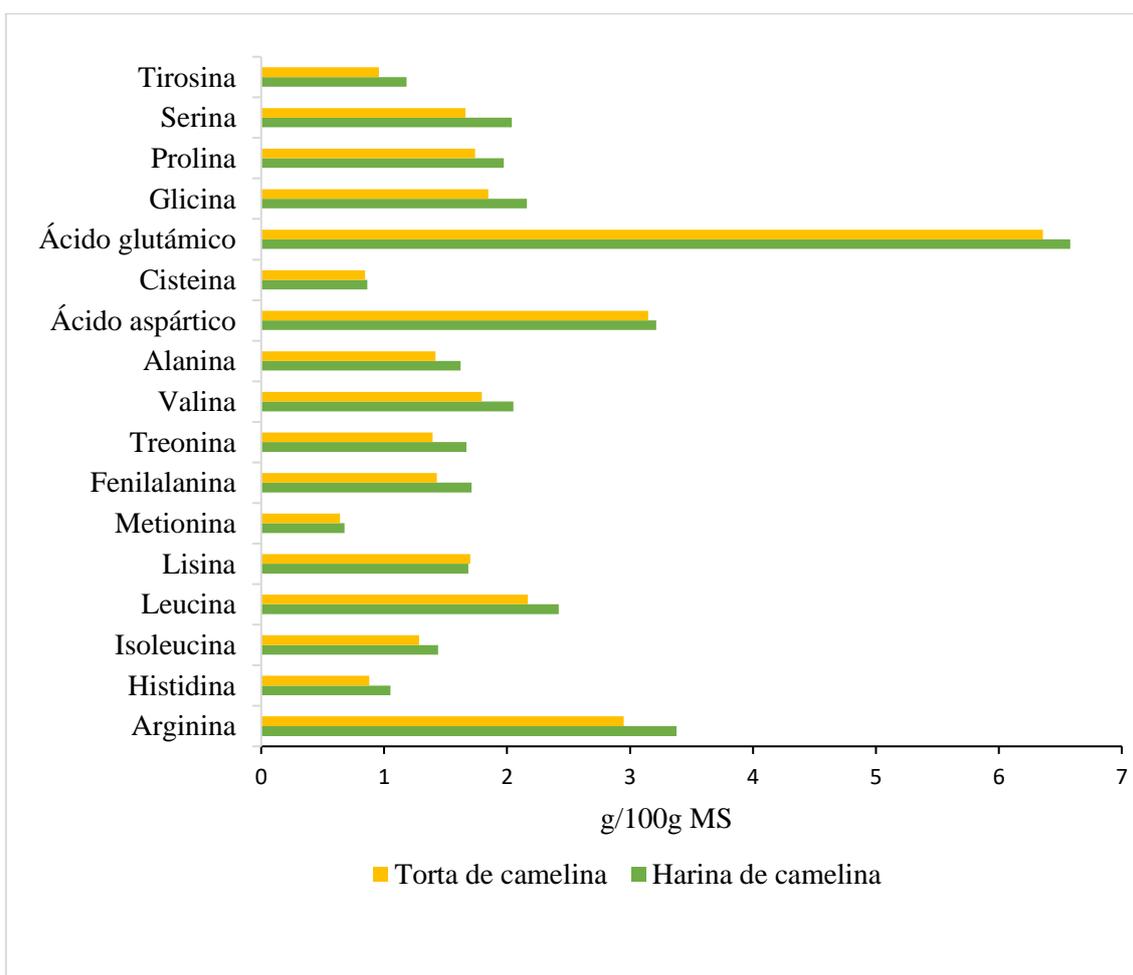
**Tabla 5.1** Composición química de los ingredientes

Composición química, % MS	Fuentes de proteína						Fuentes de fibra	
	HC <sup>1</sup>	TC	HG36	HG28	HS	HCo	CC	CS
MS	91,5	92,8	90,3	89,4	88,1	88,3	92,1	90,0
Cenizas	5,7	4,8	6,6	6,0	5,7	6,9	5,4	4,8
PB	39,5	35,1	39,3	28,6	46,7	39,8	9,0	17,1
FB	12,3	10,2	19,1	22,5	8,4	12,5	32,3	31,9
FND	37,5	32,7	40,2	43,2	10,7	35,8	54,9	55,9
FAD	17,4	14,4	23,9	28,8	12,0	21,4	34,8	39,7
LAD	4,0	2,6	7,5	9,2	0,5	8,8	7,8	1,5
EE	1,3	13,5	1,5	0,9	2,6	1,6	5,4	5,6

<sup>1</sup> HC: Harina de camelina; TC: Torta de camelina; HG36: Harina de girasol 36; HG28: Harina de girasol 28; HS: Harina de soja 44; HCo: Harina de colza 00; CC: Cascarella de camelina; CS: Cascarella de soja.

La proteína de la torta de camelina contiene cantidades interesantes de aminoácidos esenciales, entre ellos lisina y metionina, de acuerdo con lo publicado por Cherian et al. (2009). La cantidad de lisina y metionina de ambos coproductos de camelina presentes en la Figura 5.1 son parecidos a los 1,89 g/100g MS y los 0,68 g/100g MS, respectivamente, que contiene la harina de colza 00 (FEDNA, 2015).

**Figura 5.1** Perfil de aminoácidos de la torta y la harina de camelina (Cerisuelo, comunicación personal)



Como el contenido en PB de la harina de camelina fue similar al de la harina de colza y al de la harina de girasol 36% se decidió seguir trabajando con estos dos ingredientes, siendo la harina de girasol 28% descartada por su menor contenido proteico. La torta de camelina presentó valores de PB menores que las harinas de camelina, soja

44, colza 00 y girasol 36 pero mayor que la descartada harina de girasol 28. El contenido en FND fue mayor en las harinas de girasol 28% y 36%, seguidas por la harina de camelina, la harina de colza 00 y la torta de camelina. La harina de soja 44%, pese a presentar valores más elevados de PB y mucho más bajos de FND, se decidió seguir utilizando en fases posteriores de la caracterización para poder mantenerla como referencia a nivel de fuente de proteína vegetal en alimentación animal.

Desde un punto de vista metodológico se considera interesante comentar que la determinación de la FND de la torta y la harina de camelina necesitó de una pequeña modificación de la técnica de Van Soest et al. (1991), con la adición del doble de  $\alpha$ -amilasa. Se decidió trabajar de esta manera porque los valores resultantes de FND de ambos ingredientes testados eran claramente sobreestimados al utilizar  $\alpha$ -amilasa en la cantidad habitual. Se observó que al finalizar el proceso en el Analizador de Fibra Ankom, las muestras presentaban una capa viscosa impidiendo que los reactivos actuaran sobre la muestra adecuadamente, sobreestimando por tanto el contenido de FND. El resto de los centros de investigación que han colaborado en el Proyecto-RTC-2015-3265-5 se encontraron con la misma situación. En este sentido, Peñagaritano et al. (2019) realizaron la determinación del contenido en polisacáridos no amiláceos solubles, observando como la harina y la torta de camelina presentaron un 6-7% y un 16-18% de este tipo de carbohidratos respectivamente, valores mucho más altos que el 1,5% de la harina de colza (Bell, 1993 y Kocher et al., 2000). Por lo tanto, la causa de la sobreestimación de la FND mediante el protocolo habitual de Van Soest et al. (1991) podría ser el elevado contenido en polisacáridos no amiláceos solubles.

La comparación de ambos coproductos de camelina evidencia que la torta de camelina tiene un porcentaje superior en EE (13,5%) que la harina de camelina (1,3%) debido a que la harina de camelina pasa por un segundo proceso químico de extracción

de aceite. De hecho, el resto de las harinas de oleaginosas analizadas tienen contenidos similares de EE a la harina de camelina seguramente por el hecho de obtenerse por un proceso de extracción de aceite similar.

Por otro lado, una de las principales preocupaciones relacionadas con el uso de coproductos de camelina es el contenido en glucosinolatos, comprobándose que en el caso de las muestras con las que se trabajó el contenido en isotiocianatos, como principal metabolito tóxico de glucosinolatos, fue muy bajo. Según Schuster y Friedt (1998), el posible efecto negativo de los glucosinolatos sobre los rendimientos productivos y la palatabilidad no proviene de estos en sí, sino de los productos derivados de su degradación cuando son hidrolizados a isotiocianatos, nitrilos o tiocianatos. En el Capítulo 3 se cogió como referencia el isotiocianato como indicador de toxicidad derivada del contenido en glucosinolatos, porque según Mathus y Zubr (2000) la hidrólisis de glucosinolatos en la camelina produce sólo isotiocianatos no volátiles como productos de su hidrólisis. Los valores encontrados, tanto en la harina como en la torta de camelina (0.09 mg/g en ambos casos), estaban por debajo de los de la harina de colza 00, considerada como ingrediente proteico con contenido bajo de glucosinolatos.

Aunque se obtuvieron valores bajos de isotiocianato, podría ser que el contenido en glucosinolatos de la harina y la torta de camelina siguieran siendo elevados, aún sin comportar toxicidad. De hecho, Peñagaritano et al. (2019) estudiaron directamente el contenido total de glucosinolatos y encontraron valores de 0,0113 mg/g en la harina de camelina y de 1,138 mg/g en la torta de camelina. Esta diferencia en el contenido de glucosinolatos totales, podría deberse, por un lado, a diferencias en el lote de camelina y, por otro, al método de extracción del aceite.

La importancia del contenido en glucosinolatos en los coproductos de camelina ha marcado tanto la legislación como las recomendaciones de inclusión de los mismos (EFSA, 2007; Benz, 2009), siendo la torta de camelina el coproducto más estudiado hasta el momento en alimentación animal, como se ha podido observar en la bibliografía citada en la introducción (Flachowsky et al., 1997; Ryhanen et al., 2007; Cherian et al., 2009; Pekel et al., 2009; Moriel et al., 2011; Szumacher-Strabel et al., 2011; Cappellozza et al., 2012; Almeida et al., 2013; Lawrence et al., 2016; Ye et al., 2016; Paula et al., 2019).

Los contenidos encontrados de ácido erúxico expuestos en el Capítulo 3 de esta tesis, así como por otros grupos de investigación del Proyecto-RTC-2015-3265-5, están entre el 3 y el 6% del contenido en aceite. En comparación con la variedad de harina de colza 00, que tiene actualmente menos del 1% de contenido de grasa en forma de ácido erúxico, el contenido de los coproductos de camelina es más elevado, aunque según EFSA (2007) actualmente no hay datos suficientes para determinar cuál sería el límite de ingestión diaria de ácido erúxico en rumiantes. Por ejemplo, Boheme et al. (2005) registraron una ingestión diaria de 170 mg/kg de ácido erúxico en vaca de leche sin llegar a detectar ningún efecto en el rendimiento. En este sentido, asumiendo una ingestión de MS de unos 10 kg diarios en terneros en cebo, con una inclusión hipotética de un máximo del 25% de torta de camelina, y teniendo en cuenta un 13,5% de contenido de EE y un máximo del 6% del contenido de EE en forma de ácido erúxico, la ingestión de éste siempre estaría por debajo de los 170 mg/kg de ingestión diaria de ácido erúxico comentados anteriormente.

Por último, el contenido de taninos según Peñagaritano et al. (2019) es de 433 y 409 ppm en la harina y la torta de camelina, respectivamente. En las tablas FEDNA (2015) se exponen valores más elevados de entre 1-2 mg/g. Ambos valores se encuentran no

obstante por debajo de los 13,2 mg/g de taninos que obtuvieron Hu et al. (2015) analizando harina de colza 00.

Finalmente, en cuanto a las fuentes de fibra, la cascarilla de camelina presentó valores parecidos de FND y FAD a la cascarilla de soja, pero mucha más LAD, indicando una calidad inferior de la fibra. Además, la cascarilla de camelina también presentó valores más bajos de PB respecto a la cascarilla de soja. El contenido del 17,5% en PB obtenido con la cascarilla de soja, si se compara con el valor del 11,8% dado por FEDNA (2015), hacen plantear la posibilidad que las muestras de cascarilla de soja utilizadas para las determinaciones de composición química tuvieran restos elevados de semilla o de harina de soja, seguramente debido a alguna alteración durante su proceso de obtención o durante su almacenaje como materia prima.

#### **5.2.1.2 Digestibilidad *in vitro***

El siguiente paso dentro de la caracterización nutricional fue evaluar las diferencias en la estimación de la digestibilidad de la MS y de la MO entre los ingredientes seleccionados en una digestión *in vitro* mediante la técnica Tilley y Terry (1963) modificada por Stern y Endress (1991). Debido a que se trabajó con líquido ruminal, esta técnica se utilizó como primera estimación del comportamiento de los coproductos de camelina en rumen y como método de screening de ingredientes.

En las Tablas 5.2 y 5.3, los resultados presentados en el Capítulo 3 se amplían con los valores de digestibilidad de la MS y de la materia orgánica (MO) de la harina de girasol 36% como otra fuente de proteína analizada, así como con las cascarillas de soja y de camelina como fuentes fibrosas.

**Tabla 5.2** Digestibilidad de la materia seca (DMS) y digestibilidad de la materia orgánica (DMO) de las fuentes de proteína.

Ítem	Fuentes de proteína					EEM <sup>2</sup>	P-valor
	HC <sup>1</sup>	TC	HG	HS	HCo		
DMS	65,4 <sup>b</sup>	64,4 <sup>bc</sup>	60,0 <sup>c</sup>	73,5 <sup>a</sup>	62,0 <sup>bc</sup>	1,07	<0,001
DMO	71,5 <sup>b</sup>	69,7 <sup>bc</sup>	66,6 <sup>c</sup>	86,8 <sup>a</sup>	72,4 <sup>b</sup>	1,23	<0,001

Los superíndices a, b, c, indican diferencias con P-valor < 0,05.<sup>1</sup> HC: Harina de camelina; TC: Torta de camelina; HG: Harina de girasol 36; HS: Harina de soja 44; HCo: Harina de Colza 00.  
<sup>2</sup> Error estándar de la media.

**Tabla 5.3** Digestibilidad de la materia seca (DMS) y digestibilidad de la materia orgánica (DMO) de las fuentes de fibra.

Ítem	Fuentes de fibra			P-valor
	CC	CS	EEM	
DMS	44,1 <sup>z</sup>	71,7 <sup>y</sup>	1,25	<0,001
DMO	49,0 <sup>z</sup>	84,1 <sup>y</sup>	1,19	<0,001

Los superíndices y, z, indican diferencias con P-valor < 0,05.<sup>1</sup> CC: Cascarilla de camelina; CS: Cascarilla de soja.  
<sup>2</sup> Error estándar de la media.

No hubo diferencias significativas entre los valores de DMS y de DMO de la harina y la torta de camelina. La harina de soja 44 fue el ingrediente más digestible. En referencia a la DMS, se pudo observar como la harina de camelina, la torta de camelina y la harina de colza 00 fueron los ingredientes proteicos con mayor digestibilidad tras la harina de soja, aunque la torta de camelina y la harina de colza 00 no se pudieron diferenciar de la harina de girasol 36.

Con respecto a la DMO, por debajo de la harina de soja 44 encontramos la harina de colza 00, la harina de camelina y la torta de camelina, con DMO similares. La DMO más baja se registró con la harina de girasol 36, que no se diferenció de la DMO de la

torta de camelina ( $P>0,05$ ). La menor digestibilidad *in vitro* de la harina de girasol 36 fue la razón por la que se decidió no utilizar este ingrediente en el experimento con los fermentadores de doble flujo.

En cuanto a las fuentes de fibra, la cascarilla de camelina presentó una DMS y una DMO mucho más bajas que la cascarilla de soja. Seguramente la explicación reside en el elevado contenido en lignina de la cascarilla de camelina comparada con la cascarilla de soja.

### **5.2.1.3 Degradabilidad *in situ***

Los ingredientes utilizados para el estudio de la degradabilidad *in situ* fueron los mismos que los utilizados en el apartado anterior. Los parámetros de degradabilidad de la MS y de la PB se exponen en la Tabla 5.3.

La degradabilidad efectiva (DE) de la MS de la harina de girasol 36 fue la más baja junto con la de la harina de soja 44. Sin embargo, mientras la velocidad de degradación de la harina del girasol fue 0,17 /h, la de la harina de soja fue de 0,08 /h. La DE de la MS de la harina de colza 00 y la harina de camelina fue similar y algo más elevada, y el ingrediente con una DE de la MS más elevada fue la torta de camelina.

La degradabilidad efectiva de la PB (DEP) más elevada se encontró en la torta de camelina, junto con la más alta velocidad de degradación. A continuación, le siguieron la harina de girasol 36 y la harina de colza 00. Más baja fue la DEP registrada en la harina de camelina y, de todos los ingredientes, la menor degradabilidad y la más baja velocidad de degradación se detectaron, como cabía esperar, en la harina de soja.

**Tabla 5.4** Parámetros de degradabilidad<sup>1</sup> y degradabilidad efectiva de la materia seca (DE) y de la proteína bruta (DEP).

Ítem	Fuentes de proteína					Fuentes de fibra	
	HC <sup>2</sup>	TC	HG36	HS	HCo	CC	CS
<b>MS</b>							
<i>a</i>	0,35 ± 0,022 <sup>3</sup>	0,49 ± 0,013	0,37 ± 0,025	0,32 ± 0,012	0,37 ± 0,025	0,41 ± 0,015	0,29 ± 0,013
<i>b</i>	0,44 ± 0,025	0,33 ± 0,015	0,36 ± 0,028	0,57 ± 0,153	0,40 ± 0,028	0,15 ± 0,017	0,62 ± 0,020
<i>c</i> (/h)	0,13 ± 0,017	0,13 ± 0,014	0,17 ± 0,028	0,08 ± 0,005	0,18 ± 0,027	0,23 ± 0,052	0,05 ± 0,005
DE	0,66	0,72	0,64	0,64	0,67	0,53	0,57
<b>CP</b>							
<i>a</i>	0,29 ± 0,027	0,47 ± 0,030	0,44 ± 0,017	0,24 ± 0,0165	0,37 ± 0,020	0,57 ± 0,010	0,75 ± 0,008
<i>b</i>	0,66 ± 0,031	0,48 ± 0,034	0,51 ± 0,019	0,78 ± 0,0217	0,58 ± 0,022	0,31 ± 0,011	0,24 ± 0,010
<i>c</i> (/h)	0,16 ± 0,017	0,25 ± 0,038	0,20 ± 0,015	0,06 ± 0,005	0,21 ± 0,017	0,32 ± 0,025	0,08 ± 0,009
DEP	0,77	0,86	0,83	0,64	0,82	0,83	0,89

<sup>1</sup> *a*: Fracción soluble; *b*: Fracción insoluble degradable; *c*: velocidad (/h) de desaparición de la fracción *b*. <sup>2</sup> HC: Harina de camelina; TC: Torta de camelina; HG: Harina de girasol 36; HS: Harina de soja 44; HCo: Harina de Colza 00; CC: Cascarilla de camelina; CS: Cascarilla de soja. <sup>3</sup> Error estándar de la media.

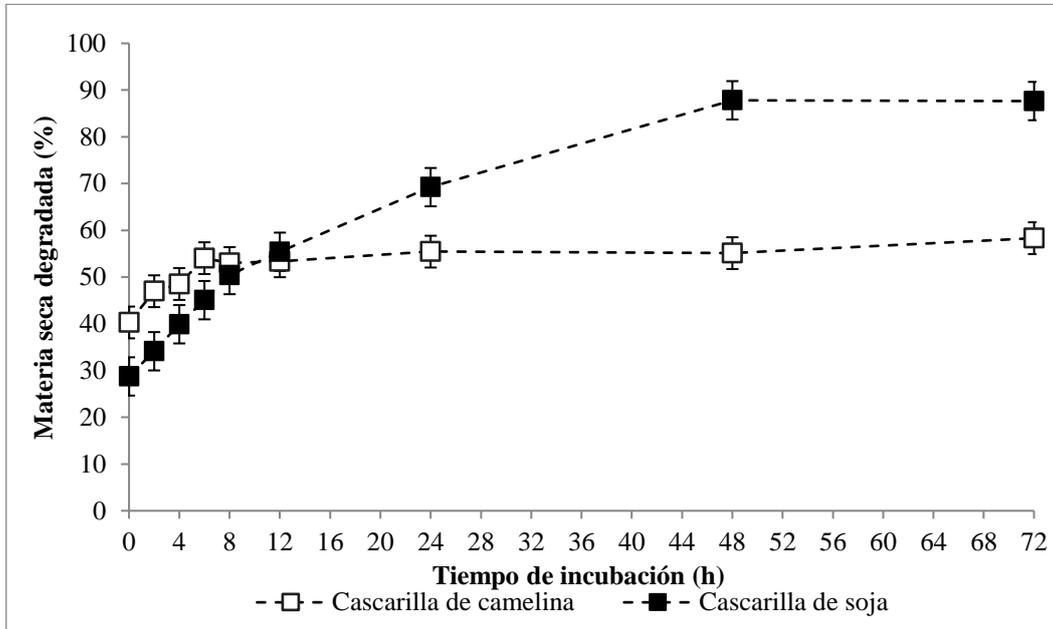
En el Capítulo 3 se menciona que la fracción soluble *a* de la harina de colza y de la torta de camelina fue mucho más elevada que la que aparece en la bibliografía (Prestløkken, 1999; Wulf y Südekum, 2005; Heendeniya et al. 2012), planteándose la posibilidad de que haya habido una pérdida de material por los poros de 50  $\mu\text{m}$  de las bolsas de nylon, lo que podría haber causado una sobreestimación de la fracción soluble *a* y una infravaloración de la fracción *b* insoluble pero degradable (tanto en MS como PB) lo que hubiera podido afectar la DE y la DEP. Hubiera sido deseable realizar una corrección de la fracción soluble *a*, basada en el procedimiento de Hvelplund y Weisbjerg (2000).

También se incubaron *in situ* las dos fuentes de fibra (Tabla 5.3). En lo que respecta a la MS, la cascarilla de camelina presentó una mayor fracción soluble *a*, una menor fracción insoluble *b* pero degradable, una mayor velocidad de degradación y una menor DE que la cascarilla de soja. Apoyando estos resultados, en la curva de degradación de la MS (Figura 5.2) se puede ver como a partir de la hora 12, cada vez la diferencia de la MS total degradada entre la cascarilla de camelina y la cascarilla de soja es mayor, siendo la DE del 58,3% y del 87,7% respectivamente, a las 72 horas. Esta diferencia de degradación total encontrada en la técnica *in situ* podría relacionarse con la observada en la estimación de digestibilidad *in vitro* del apartado anterior.

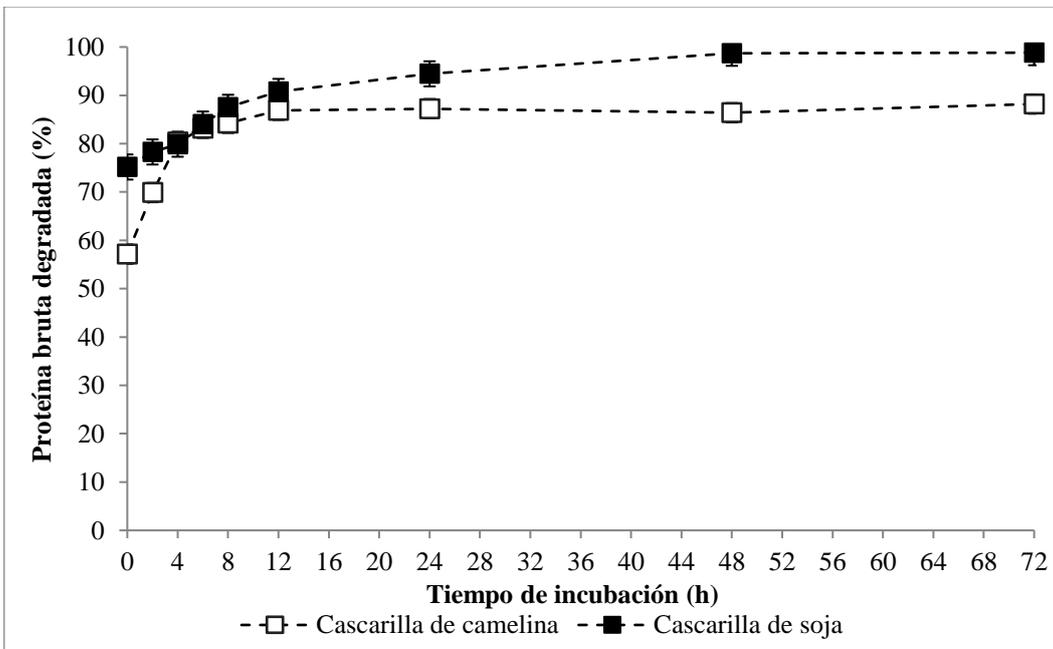
La cascarilla de camelina también tuvo un comportamiento distinto a la cascarilla de soja en cuanto a la degradabilidad de la proteína, presentando una menor fracción soluble *a*, una fracción *b* ligeramente superior y una velocidad de degradación mucho mayor. La DEP fue inferior en la cascarilla de camelina que en la cascarilla de soja, (82,52% y 88,70%, respectivamente; Tabla 5.3). De una forma menos marcada que en la curva de degradación de la MS pero también visible, se puede ver a partir de la hora 12

la proteína bruta total degradada de la cascarilla de camelina siempre se mantiene por debajo de la de la cascarilla de soja (Figura 5.3).

**Figura 5.2** Curva de degradación de la materia seca de las fuentes fibrosas utilizadas en la técnica *in situ*



**Figura 5.3.** Curva de degradación de la proteína bruta de las fuentes fibrosas utilizadas en la técnica *in situ*



Después del análisis de la composición química, de la estimación de la digestibilidad *in vitro* y de la degradabilidad *in situ*, se consideró que la cascarilla de

camelina no era un producto fibroso interesante para la alimentación en rumiantes en comparación con la cascarilla de soja.

### **5.2.2 Fermentación ruminal y síntesis de proteína microbiana**

Una vez caracterizadas nutricionalmente la torta y la harina de camelina, se procedió a analizar los efectos de la inclusión de estos coproductos como ingredientes dentro de una dieta de terneros de engorde con el rol de ser las principales fuentes de proteína. También se trabajó con dietas formuladas con harina soja 44 y harina de colza 00. El motivo de utilizar la harina de soja fue que ésta es la principal fuente de proteína vegetal en alimentación de terneros de engorde y la razón de trabajar con harina de colza fue que, aparte de ser el segundo recurso de proteína vegetal más utilizado, fue el ingrediente con características y resultados experimentales de la caracterización nutricional más parecidos a los coproductos de camelina.

Aunque los resultados están ampliamente descritos y discutidos en el Capítulo 3, a modo de resumen se puede hacer hincapié en que no hubo diferencias en la eficiencia de síntesis de proteína microbiana (EMPS), ni en la digestibilidad aparente de la MS y de la FND entre tratamientos, aunque la dieta con torta de camelina presentó una tendencia a tener una mayor digestibilidad verdadera de la MO que la dieta con harina de soja 44, y ambas dietas formuladas con coproductos de camelina presentaron una mayor cantidad total de AGV que la dieta con harina de soja 44. En cuanto a la degradación de la proteína, la dieta con torta de camelina tendió a mostrar un porcentaje de degradación más elevado que la dieta con harina de camelina, confirmando los resultados obtenidos en el estudio *in situ*, aunque la degradación en las dietas con ambos coproductos de camelina no se diferenció de la de las dietas con harina de soja 44 y harina de colza 00. Esta diferencia se podría deber al método de extracción químico del aceite que haga menos accesible a

la harina que a la torta de camelina de la degradación proteica en el rumen (Huhtanen et al., 2011; Santos et al., 1998).

Los resultados obtenidos en los fermentadores de doble flujo continuo evidencian que, por lo menos a nivel *in vitro*, la dieta con harina de camelina presenta resultados prácticamente equivalentes a las dietas con harina de soja o harina de colza (con la excepción de la cantidad total y el perfil de ácidos grasos) y que la dieta más parecida a la dieta con torta de camelina es la dieta con harina de colza.

Una vez observada la semejanza entre la harina de camelina y las harinas de soja y colza, la idea inicial fue la de intentar trabajar con este coproducto de camelina para el posterior estudio *in vivo*. Sin embargo, la coyuntura económica con un descenso del precio del aceite en el mercado internacional llevó a las compañías Camelina Company España y Dadelos Agrícola, como productores y distribuidores de la materia prima, a decidir que toda la cosecha del año anterior a la realización del experimento *in vivo* se dedicara exclusivamente a producir torta de camelina. De esta forma se realizaba tan solo la extracción física del aceite obteniendo torta de camelina con un contenido relativo de PB menor debido al remanente de aceite. El contexto global del bajo precio del aceite en los años 2015 y 2016 no justificó económicamente realizar una segunda extracción química del aceite para obtener harina de camelina como sí había ocurrido en cosechas anteriores en las que el precio del aceite de camelina era mayor. Esta situación puso de manifiesto que el factor con más peso en la toma de decisiones a nivel comercial del cultivo de *Camelina sativa* es la comercialización de su aceite.

Tal como se explica posteriormente en el apartado 5.2.4, adaptándonos a la nueva situación en la que se debía trabajar con torta de camelina, la decisión tomada fue la de trabajar con la harina de colza 00, ya que en fermentadores la dieta formulada con colza fue la que presentó los resultados más parecidos a la dieta con torta de camelina.

### 5.2.3 Resultados comparativos entre la torta y la harina de camelina

Uno de los principales aportes que pretendía hacer esta tesis doctoral era comparar entre sí el potencial como ingrediente de la torta y la harina de camelina, tanto como ingrediente individual como formando parte de una dieta de terneros de engorde (en un sistema *in vitro*). La Figura 5.4 ilustra de forma esquemática los principales puntos de la comparación, así como los resultados principales.

En relación con la composición química, la harina camelina tiene un contenido de PB superior al de la torta de camelina, así como de FND, FAD y LAD. Las diferencias en cuanto a la composición química se pueden explicar por la segunda extracción del aceite a la que es sometida la torta de camelina para obtener la harina de camelina. Durante la extracción química del aceite necesaria para la producción de la harina de camelina, el contenido relativo del resto de componentes aumenta ya que se extrae al producto final gran parte del aceite remanente que presentaba la torta de camelina.

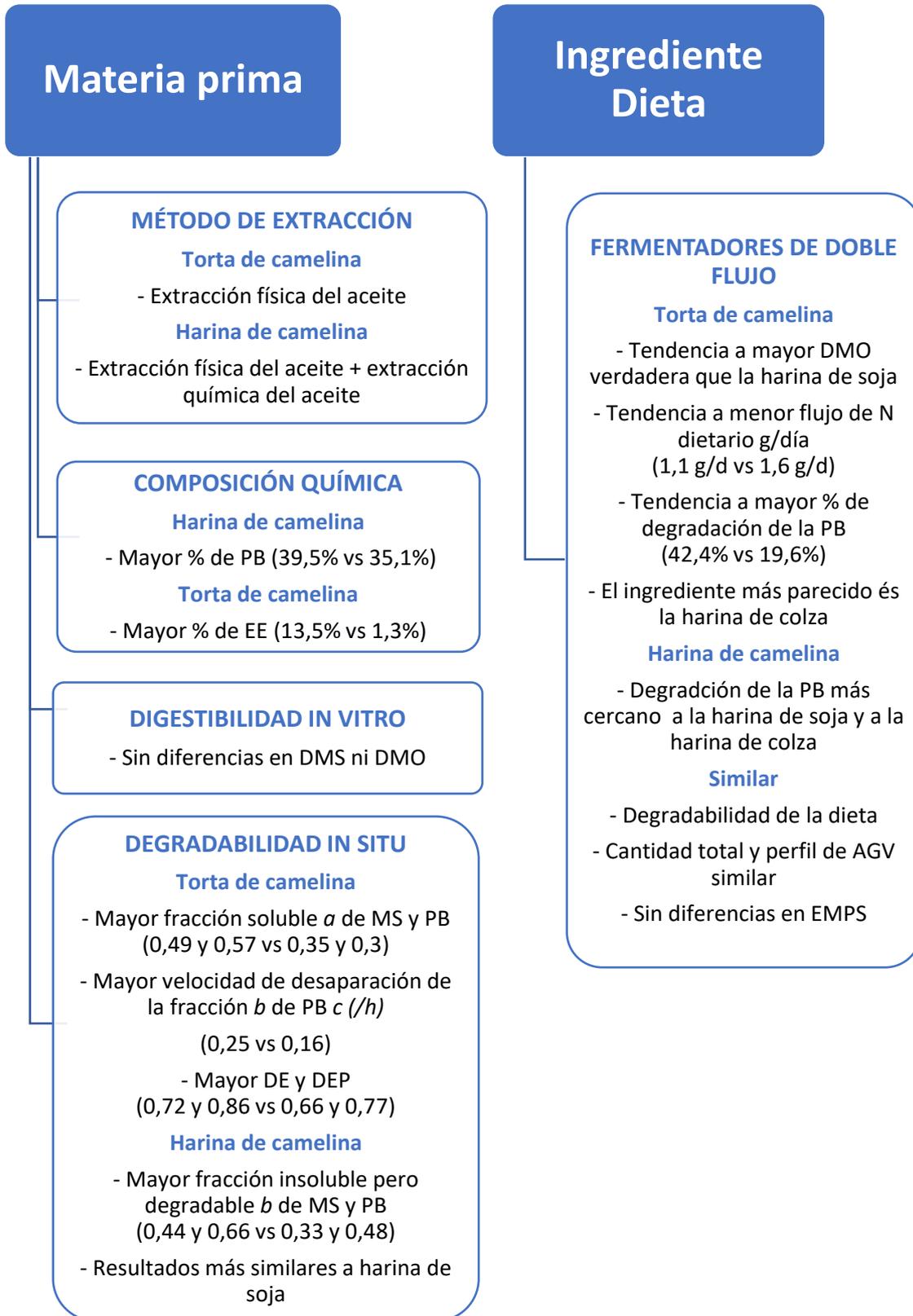
En la digestibilidad *in vitro* de la MS y la MO no se observaron diferencias entre ambos coproductos de camelina. En cambio, en el estudio de la degradabilidad *in situ* de la MS y de PB la torta de camelina presentó una mayor fracción soluble  $a$ , una menor fracción insoluble pero degradable  $b$  y una mayor degradabilidad efectiva que la harina de camelina, tanto para la MS como para la PB. Por su parte, la velocidad de degradación fue similar para la MS, mientras que la velocidad de degradación de la proteína fue más elevada en la torta de camelina que en la harina de camelina.

El uso de los fermentadores para comparar dietas para terneros de engorde donde la torta o la harina de camelina eran usadas como fuentes principales de proteína, permitió comprobar como las digestibilidades de ambas dietas eran iguales entre sí, así como la concentración total y el perfil de AGV. En cambio, donde se encontraron mayores diferencias fue en el metabolismo nitrogenado. El porcentaje de degradación de la

proteína tendió a ser inferior en la dieta con harina de camelina que en la dieta con torta de camelina. Una posible explicación podría ser que el proceso de extracción químico del aceite provoque reacciones químicas (por ejemplo, reacciones de Maillard) en el ingrediente que hagan más compleja la degradación de la proteína por parte de los microorganismos en el rumen (Huhtanen et al., 2011; Santos et al., 1998). Esta menor degradabilidad de la proteína en el caso de la harina de camelina explicaría la tendencia a un mayor contenido de nitrógeno dietario y el menor valor numérico en el flujo de nitrógeno bacteriano comparado con la dieta de torta de camelina, ya que al degradarse una menor proporción de proteína en el rumen, ésta quedaría en el efluente sin llegar a formar parte de las bacterias en forma de nitrógeno bacteriano. Contrariamente a lo esperable, esta menor degradación de la proteína no afectó a la eficiencia de síntesis de proteína bacteriana ya que no hubo diferencias entre las dietas de torta y harina de camelina. Por lo tanto, los fermentadores de doble flujo continuo pusieron de manifiesto que dietas formuladas con torta o harina de camelina no presentaron diferencias de digestibilidad, proporcionaron un perfil fermentativo similar, y un metabolismo del nitrógeno con una tendencia a una menor degradación de la proteína y un mayor flujo de nitrógeno dietario con la dieta formulada con la harina de camelina, pero sin afectar a la eficiencia de síntesis de proteína microbiana.

Finalmente, este experimento confirmó que, pese a no haber diferencias en la eficiencia de síntesis de proteína bacteriana, la dieta que más se aproximó a la formulada con harina de soja 44 fue la dieta con harina de colza, mientras que ambas dietas formuladas con coproductos de camelina no presentaron diferencias con la dieta a base de harina de colza 00.

**Figura 5.4** Resumen comparativo entre la torta de camelina y la harina de camelina



#### **5.2.4 Efectos de la incorporación de torta de camelina en dietas de terneros de engorde en condiciones *in vivo***

La primera etapa del estudio con animales fue el test de preferencia. Se trabajó con dos dietas isoenergéticas e isoproteicas formuladas o bien con harina de colza o con torta de camelina, que se incluyeron para que fueran el principal ingrediente proteico intentando que fueran lo más parecidas posibles a las que se utilizaron en fermentadores. En relación al uso de torta de camelina como ingrediente en pienso para terneros, es importante destacar que además de la proporción elevada de torta de camelina usada en este estudio, superior al 10% de MS recomendada por la FDA (Benz, 2010), la dieta se suministraba a los animales con una relación concentrado:forraje de 90:10, a diferencia de lo que hemos podido revisar hasta el momento en la bibliografía (hay estudios con concentrados con porcentajes de inclusión más elevados, pero sólo con la función de suplemento proteico de la dieta y con menor ingestión). El objetivo del test de preferencia, mediante libre acceso simultáneo a ambas dietas, fue el de evaluar si había diferencias de consumo entre la dieta con torta de camelina y la dieta con harina de colza, y comprobar si había cambios en la pauta de ingestión.

Los resultados mostraron una clara preferencia de los animales por la dieta a base de harina de colza. Nuestra hipótesis para justificar estos resultados fue que la menor preferencia podría ser debida a una baja palatabilidad vinculada a las características organolépticas tan marcadas, sobre todo olor y sabor amargo, de la torta de camelina. Para intentar dar respuesta a esta posible causa, se planteó un segundo experimento en el que se añadía a ambas dietas un 5% en MF de melaza para intentar camuflar las características organolépticas y ver si se reducían las diferencias de consumo entre tratamientos. Pese a la utilización de melaza, los resultados fueron prácticamente los mismos. Sería interesante poder trabajar con una dosificación más elevada de melaza para realmente eliminar el

olor y el sabor como posible causa del menor consumo de dietas a base de camelina, aunque FEDNA (2015) sitúa el límite de inclusión de melaza en un 7% de MF. Otra posible explicación de la menor preferencia observada podría ser la viscosidad que aportarían a la dieta la elevada cantidad de polisacáridos no amiláceos de la torta de camelina (Peñagaritano et al. 2019). Esta elevada cantidad de polisacáridos no amiláceos podría afectar a la textura y, por lo tanto, a la palatabilidad de la dieta. También podría deberse a que los glucosinolatos presentes en la torta de camelina se degradaran en otros metabolitos y no en forma de isotiocianatos (analizados y considerados valores prácticamente negligibles en la torta de camelina en los Capítulos 3 y 4), pudiendo causar una reducción de la palatabilidad, aunque como se ha citado previamente, según Mathus y Zubr (2000) la hidrólisis de glucosinolatos en camelina produce sólo isotiocianatos no volátiles.

En el segundo experimento realizado *in vivo*, en el que sobre la dieta control formulada con harina de colza, se sustituía un 3, 6 y 9% de harina de colza por torta de camelina, no hubo diferencias entre tratamientos en el consumo de MS. El principal motivo que podría explicar esta diferencia entre ambos experimentos, trabajando con los mismos animales, podría ser la reducción del nivel de inclusión en el segundo estudio respecto al primero. La inclusión de como máximo el 9% de torta de camelina en las dietas, sin efectos en la ingestión de MS y sin causar ningún trastorno que indicara un riesgo para la salud y/o el bienestar de los animales durante el experimento, entra dentro de los márgenes de seguridad propuestos por la FDA (Benz, 2010), y está en consonancia con los estudios de Lawrence et al. (2016) en los que no encontraron diferencias entre tratamientos al incluir torta de camelina en un 10% sobre MS (aunque con una dieta con una proporción de forraje mayor). Otra posible causa sería que los animales se hubieran adaptado a la torta de camelina durante los dos test de preferencia. Trabajando con

gallinas ponedoras, Peñagaritano et al. (2019) observaron como el consumo de pienso con torta de camelina era inicialmente menor pero que en la última fase del experimento tendió a igualarse, mostrando por lo tanto cierta capacidad de adaptación.

De la misma manera que no hubo diferencias en la ingestión de la MS, las digestibilidades de los tratamientos con torta de camelina no presentaron diferencias respecto la dieta con harina de colza, sugiriendo que la torta de camelina puede ser utilizada al 9% de inclusión en terneros de engorde. De esta forma los resultados obtenidos *in vivo* confirmaron los obtenidos *in vitro* cuando la digestibilidad de ambos ingredientes fue estudiada de forma individual. Además, cogiendo la eficiencia de síntesis de proteína microbiana (g de N microbiano/kg de materia orgánica verdaderamente digerida) como el parámetro que mejor define la utilización de la PB y el aprovechamiento de ésta en relación con la energía, las dietas formuladas con torta de camelina y harina de colza 00 no presentaron diferencias.

Brandao et al. (2018) en un estudio *in vitro* en el que reemplazaba el contenido de harina de colza por harina de camelina, tampoco encontró diferencias en la digestibilidad de la MO, la MS y la FAD, pero sí que las encontró en la digestibilidad de la FND. Las diferencias en la digestibilidad de la FND respecto a los resultados obtenidos en nuestro estudio pueden deberse a que Brandao et al. (2018) trabajaron con una dieta mucho más forrajera y con un contenido mucho mayor de fibra, ya que la proporción concentrado:forraje fue mucho menor que la que utilizamos en nuestro estudio (45:55 y 90:10, respectivamente). Esta reducción de la digestibilidad de la FND podría ser debida a que la inclusión de harina y/o torta de camelina a niveles muy altos en la dieta pueda afectar a la digestibilidad de la hemicelulosa debido quizás al contenido elevado de polisacáridos no amiláceos como se ha hipotetizado anteriormente. Por lo tanto, podría ser que, en caso de dietas con más proporción de forraje, y por lo tanto de FND, la

inclusión de coproductos derivados de camelina tenga un efecto negativo sobre la digestibilidad de FND.

En referencia al comportamiento estudiado en el segundo experimento (ingestión por tamaño de partícula, selección de partículas por tamaño, y tiempo en comedero, en bebedero y rumiando), destacar que pese a que no hubo diferencias en el consumo de MS entre tratamientos, sí que se observó un incremento en la selección a favor de partículas grandes en los tratamientos a mayor inclusión de torta de camelina. Este hecho podría estar vinculado a que pese a tener la misma ingestión total de MS, los animales con tratamientos con un elevado porcentaje de inclusión de torta de camelina ingirieron una mayor cantidad de partículas de mayor tamaño que se podrían asociar directamente a la paja de la dieta. Aun así, las diferencias en la selección por tamaño de partícula no comportaron diferencias significativas en el tiempo total dedicado al comportamiento de masticación, esperables si hubiera habido un mayor comportamiento de rumia vinculado a una mayor ingestión de fibra, aunque las diferencias numéricas así lo indicaron.

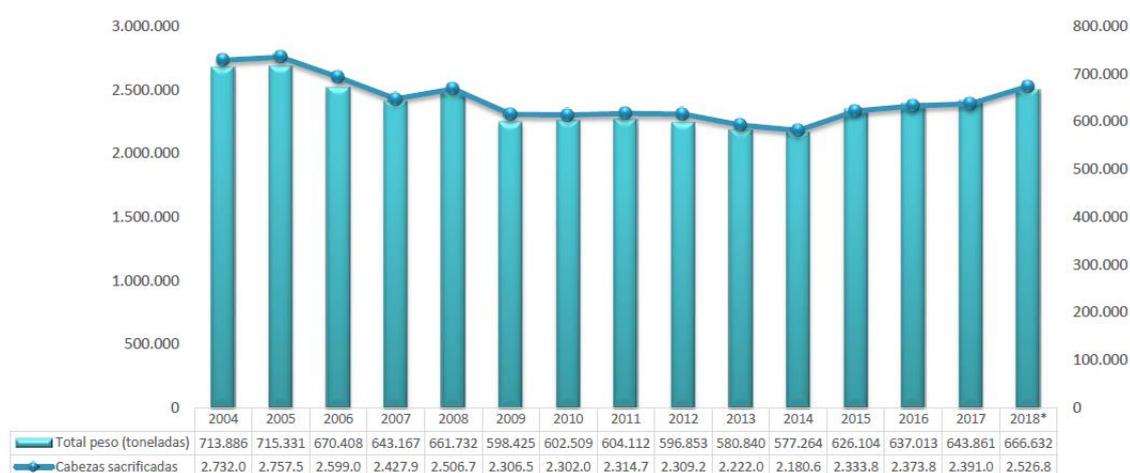
Esta tesis doctoral aporta información para poder afirmar que con los datos obtenidos parece que la inclusión del 9% de torta de camelina no presenta efectos negativos sobre la ingestión de MS ni sobre la digestibilidad en dietas de terneros de engorde. Para poder tener una seguridad completa sobre la inclusión de torta de camelina hasta el 9% en dietas para terneros en cebo sería interesante poder completar el estudio realizado con un experimento de cebo completo con el objetivo de obtener datos sobre la GMD, la ganancia total de peso, el IC y sobre la calidad de la canal y de la carne.

En la misma dirección de proponer estudios de futuro, visto los resultados expuestos en el Capítulo 3, sería interesante realizar experimentos *in vivo* con la harina de camelina y obtener resultados sobre su uso en dietas para terneros en cebo intensivo.

### 5.3 ¿Qué papel podrían tener los coproductos de camelina en el sector del vacuno de carne?

La producción de carne de vacuno en España desde el año 2004 tuvo una tendencia decreciente hasta el año 2014, momento a partir cual empezó a recuperarse (Figura 5.5). Uno de los factores principales que motivó este descenso de la producción fue la elevación de los precios de las materias primas utilizadas para la fabricación del pienso. Gran parte de la producción de carne de vacuno se basa en los cebaderos intensivos, donde los animales son alimentados con pienso y paja de cereal, esta situación provoca que la alimentación sea uno de los costes más elevados de este sistema productivo, llegando al 56% de los costes en el cebo de mamonos y al 37% en el cebo de pasteros (MAGRAMA, 2009).

**Figura 5.5** Evolución de la producción de carne de vacuno en España (MAGRAMA, 2018)



Aunque actualmente los precios de las materias primas están relativamente estables, hasta el año 2013 los precios de éstas estaban sufriendo fuertes encarecimientos, especialmente en el caso de las fuentes de proteína. En gran medida el aumento de precios de las materias primas se debía a los altos valores del petróleo. El mercado energético determina cada vez más la tendencia del mercado agroalimentario, debido a su

importancia en la cadena productiva, la creciente producción de agrocombustibles (más de la mitad de la producción de biocombustibles de Estados Unidos se obtiene del maíz), las inversiones especulativas en los mercados agrícolas y el constante crecimiento de la población a escala mundial.

En este contexto se gestó el Proyecto-RTC-2015-3265-5 en el que se enmarca esta tesis doctoral, cuya principal motivación era la de encontrar una salida a los coproductos resultantes de la extracción de aceite de la semilla de camelina, usándolos como materias primas alternativas con un alto contenido proteico y como posible estrategia para reducir el coste de los piensos compuestos, y por lo tanto, los costes productivos del sector ganadero. Es en este punto donde cogen protagonismo la harina y la torta de camelina como nuevas materias primas y fuente de proteína vegetal, pese a que el objetivo principal del cultivo de *Camelina sativa* siga siendo la producción de aceite para la elaboración de biocombustible.

El objetivo central de esta tesis fue precisamente el de averiguar hasta qué punto eran materias primas capaces de sustituir total o parcialmente las fuentes de proteína convencionales como la harina de soja y la harina de colza, siempre vinculadas a unos precios elevados y fluctuantes. A la principal conclusión a la que se ha llegado, tras realizar los experimentos expuestos, es que la torta de camelina puede sustituir parcialmente la harina de colza hasta el 9% de inclusión. Esta tesis también pone de manifiesto que, aunque es necesario trabajar con animales para poder establecer unos límites de seguridad, la harina de camelina es también un ingrediente proteico muy prometedor, ya que tanto su composición química, como su comportamiento en las distintas pruebas *in vitro*, son similares a los de la harina de colza. Por lo tanto, el interés de la utilización de la torta de camelina (y tal vez también de la harina de camelina) como

ingrediente en la alimentación de bovinos de carne, dan un valor añadido al interés del cultivo de *Camelina sativa*, cuyo principal objetivo es la obtención de su aceite.

Como posible potencial de utilización de la torta de camelina a nivel de sector del bovino de carne, durante el 2018 se fabricaron en España 3.739.822 t de pienso destinado a terneros de engorde (MAGRAMA, 2018). Teniendo en cuenta que se podría llegar a un 9% de inclusión de torta de camelina, estaríamos hablando de un mercado de hasta 337.000 t de torta de camelina a nivel potencial. Para terminar de entender que rol podría llegar a jugar la torta y la harina de camelina en la alimentación de rumiantes es necesario trabajar esta materia prima desde un punto de vista económico. El último precio de la torta de camelina del que se ha podido tener acceso era de 210 €/t, en septiembre del 2018. En ese mismo momento la harina de soja 44 y la harina de colza 00, como principales ingredientes de referencia, estaban a 315 €/t y 248 €/t, respectivamente. La última cosecha en la que se produjo harina de camelina fue la del 2015, a 250 €/t, siendo un precio más alto que el de la colza (230 €/t) y por debajo del de la harina de soja (317 €/t).

Una vez confirmado que la torta de camelina es un producto que al 9% de inclusión se puede utilizar en terneros de engorde, si realmente el coste de producción del ingrediente fuera adecuado, su comercialización como ingrediente podría ser viable. Para poder entrar en el mercado se debe obtener un producto homogéneo entre cosechas para que la torta de camelina sea un ingrediente práctico para la formulación de dietas de terneros de engorde, es necesario seleccionar las variedades con las características que en global sean más valoradas y finalmente hace falta apostar por el producto y darlo a conocer.

## 5.4 Bibliografía

Almeida, F. N., Htoo J. K., Thomson, J. K., Stein, H. H., 2013. Amino acid digestibility in camelina products fed to growing pigs., *Can. J. Anim. Sci.*, 93, 335-343.

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

Benz, S. A., 2009. Food and Drug Administration – Department of Health and Human Services. <http://agr.mt.gov/camelina/FDAletter11-09.pdf>.

Böhme, H., Kampf, D., Lebzies, N. P., Flachowsky, G., 2005. Feeding value of crambe press cake and extracted meal as well as production responses of growing-finishing pigs and dairy cows fed these by-products. *Arch. Anim. Nutr.*, 59, 111–122.

Brandao, V. L. N., Dai, X., Paula, E. M., Silva, L. G., Marcondes, M. I., Shenkoru, T., Poulson, S. R., Faciola, A. P., 2018. Effect of replacing calcium salts of palm oil with camelina seed at 2 dietary ether extract levels on digestion, ruminal fermentation, and nutrient flow in a dual-flow continuous culture system. *J. Dairy Sci.* 101, 5046–5059.

Brandao, V. L. N., L. G. Silva, E. M. Paula, H. F. Monteiro, Dai, X., Lelis, A. L. J., Faccenda, A., Poulson, S. R., Faciola, A. P., 2018. Effects of replacing canola meal with solvent-extracted camelina meal on microbial fermentation in a dual-flow continuous culture system. *J. Dairy Sci.*, 101, 9028-9040.

Cappellozza, B. I., Cooke, R. F., Bohnert, D. W., Cherian, G., Carroll, J. A., 2012. Effects of camelina meal supplementation on ruminal forage degradability, performance, and physiological responses of beef cattle. *J. Anim. Sci.*, 90, 4042–4054.

Cherian, G., Campbell, A., Parker, T., 2009. Egg quality and lipid composition of eggs from hens fed *Camelina sativa*. *J. Appl. Poultry Res.*, 18, 143–150.

EFSA, 2007. Opinion of the Scientific Panel on contaminants in the Food Chain of the European Safety Authority (EFSA) on a request from the Commission related to glucosinolates as undesirable substances in animal feed, adopted on 27 November 2007. <http://www.efsa.europa.eu/EFSA/Scientificopinion/contamopej590glucosinolatesen.pdf>.

FEDNA, 2015. Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos, 3rd edition. C. De Blas, G. G. Mateos. P. García-Rebollar editors. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal., Madrid, 502.

Flachowsky, G., Langbein, T., Böhme, H., Schneider, A., Aulrich, K., 2011. Effect of false flax expeller combined with short-term vitamin E supplementation in pig feeding on the fatty acid pattern, vitamin E concentration and oxidative stability of various tissues. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 78, 187–195

Heendeniya, R. G., Christensen, D. A., Maenz, D. D., McKinnon, J. J., Yu, P., 2012. Protein fractionation byproduct from canola meal for dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 95, 4488–4500.

Hu, Y., Wang, Y., Li, A., Wang, Z., Zhang, X., Yun, T., Qiu, L., Yin, Y. 2016. Effects of fermented rapeseed meal on antioxidant functions, serum biochemical parameters and intestinal morphology in broilers, *Food Agr. Immunol.*, 27:2, 182-193.

Huhtanen, P.; Hetta, M.; Swensson, C., 2011. Evaluation of canola meal as a protein supplement for dairy cows: A review and a meta-analysis. *Can. J. Anim. Sci.*, 91, 529–543.

Hurtaud, C., Peyraud, J., 2007. Effects of feeding camelina (seeds or meal) on milk fatty acid composition and butter spread ability. *J. Dairy Sci.*, 90, 5134–5145.

Hvelplund, T., Weisbjerg, M. R., 2000. *In situ* techniques for the estimation of protein degradability and postrumen availability. Givens, D.I., Owen, E., Axford, R.F.E. et al. Eds. Forage evaluation in ruminant nutrition. London: CAB International, 2000. p.233-258.

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

Lawrence, R. D., Anderson, J. L., Clapper, J. A., 2016. Evaluation of camelina meal as a feedstuff for growing dairy heifers *J. Dairy Sci.*, 99, 6215–6228

MAGRAMA. 2009. Estudio de la cadena de valor del vacuno de carne. Observatorio de Precios de los Alimentos del MAGRAMA. <http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/servicios/observatorio-de-precios-de-los-alimentos/estudios-e-informes/default.aspx>

MAGRAMA. 2019. Situación de mercado sector vacuno de carne. [https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercadosganaderos/situaciondemercadovacunosectorial2019\\_tcm30-428261.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercadosganaderos/situaciondemercadovacunosectorial2019_tcm30-428261.pdf)

Matthäus, B., Zubr, J., 2000. Variability of specific components in *Camelina sativa* oilseed cakes. *Ind. Crops Prod.*, 12, 9-18.

Maxin, G., Ouellet, D.R., Lapierre, H., 2013. Ruminant degradability of dry matter, crude protein, and amino acids in soybean meal, canola meal, corn, and wheat dried distillers grains. *J. Dairy Sci.*, 2013, 96, 5151–5160.

Moriel, P., Nayigihugu, V., Cappelozza, B. I., Gonçalves, E. P., Krall, J. M., Foulke, T., Hess, B. W., 2011. Camelina meal and crude glycerin as feed supplements for developing replacement beef heifers. *J. Anim. Sci.*, 89, 4314–4324.

NRC. Nutrient Requirements of Dairy Cattle, 8th ed.; National Academy of Sciences: Washington, DC, USA, 2012.

Paula, E. M., da Silva, L. G., Brandao, V. L. N., Dai, X., Faciola, A. P., 2019. Feeding Canola, Camelina, and Carinata Meals to Ruminants. *Animals*, 9, 704.

Pekel, Y., Patterson, P. H., Hulet, R. M., Acar, N., Cravener, T. L., Dowler, D. B., Hunter, J. M., 2009. Dietary camelina meal versus flaxseed with and without supplemental copper for broiler chickens: Live performance and processing yield. *Poult. Sci.*, 88, 2392–2398.

Peñagaritano, E., Piquer, O., Ferrer, P., Gómez, E. A., Cano, J. L., Cerisuelo, A. 2019. Digestibilidad de la proteína y aminoácidos de los subproductos de *Camelina sativa* en gallinas ponedoras: resultados preliminares. AIDA, XVIII Jornadas sobre Producción Animal, 311-313.

Prestløkken, E., 1999. *In situ* ruminal degradation and intestinal digestibility of dry matter and protein in expanded feedstuffs. *Anim. Feed. Sci. Technol.*, 77, 1–23.

Ryhanen, E.L., Pettila, S., Tupasela, T., Valaja, J., Eriksson, C., Larkka, K. 2007. Effect of *camelina sativa* expeller cake on performance and meat quality of broilers. *J. Sci. Food Agric.*, 87, 1489-1494

Santos, F. A. P., Santos, J. E. P., Theurer, C. B., Huber, J. T., 1998. Effects of rumen-undegradable protein on dairy cow performance: A12-year literature review. *J. Dairy Sci.*, 81, 3182–3213.

Schuster, A., Friedt, W., 1998. Glucosinolate Content and Composition as Parameters of Quality of Camelina Seed. *Ind. Crop. Prod.*, 7, 297-302.

Stern, M. D., Endres, M. I., 1991. Laboratory Manual; Department of Animal Science, University of Minnesota: Heights, MN, USA, 90–92.

Szumacher-Strabel, M., Cieslak, A., Zmora, P., Pers-Kamczyc, E., Bielinska, S., Stanisz, M., 2011. *Camelina sativa* cake improved unsaturated fattyacids in ewe's milk. *J. Sci. Food Agric.*, 91, 2031–2037.

Tilley, J. M. A., Terry, R. A. 1963. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *J. Br. Grassl. Soc.*, 18, 104–111.

Van Soest, J. P., Robertson, J. B., Lewis, B. A., 1991. Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.*, 71, 1587–1597.

Wulf, M., Südekum, K. H., 2005. Effects of chemically treated soybeans and expeller rapeseed meal on *in vivo* and *in situ* crude fat and crude protein disappearance from the rumen. *Anim. Feed. Sci. Technol.*, 118, 215–227.

Ye, C. L., Anderson, D. M., Lall, S. P., 2016. The effects of camelina oil and solvent extracted camelina meal on the growth: carcass composition and hindgut histology of Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr in freshwater. *Aquaculture*, 450, 397–404.



# Capítulo 6:

---

## Conclusiones



Las principales conclusiones de esta tesis doctoral en base a los resultados obtenidos fueron:

1. En referencia a la **caracterización nutricional de la torta y la harina de camelina:**

1.1 La torta y la harina de camelina presentan un elevado contenido en proteína bruta (35,1% y 39,5% sobre materia seca, respectivamente). Debido a una menor extracción de aceite durante su proceso de obtención, la torta de camelina contiene un mayor contenido de extracto etéreo que la harina de camelina y en consecuencia una menor proporción relativa de fibra que la harina de camelina.

1.2 Las digestibilidades *in vitro* de la materia seca y de la materia orgánica de la torta y la harina de camelina son similares a las de la harina de colza 00 pero inferiores a las de la harina de soja 44.

1.3 El valor de degradabilidad *in situ* de la proteína de la torta de camelina es mayor que el de la degradabilidad *in situ* de la harina de camelina. El valor de degradabilidad *in situ* de la proteína de la harina de colza 00 es similar al de la torta de camelina, mientras que el valor más bajo de degradabilidad se registra en la harina de soja.

2. En referencia a **los efectos de la incorporación de la torta y la harina de camelina en dietas isoenergéticas e isoproteicas para terneros sobre la fermentación y el metabolismo nitrogenado** estudiados en un sistema *in vitro* de fermentadores de doble flujo continuo y comparados estos efectos con los obtenidos con dietas también isoenergética e isoproteicas a base de harina de soja 44 y harina de colza 00:

2.1 Las cuatro dietas no se diferencian en la digestibilidad aparente de ninguno de los nutrientes estudiados, ni en la digestibilidad verdadera de la materia seca. Sin

embargo, la digestibilidad verdadera de la materia orgánica tiende a ser más elevada en la torta de camelina que en la harina de soja.

2.2 La producción total de ácidos grasos volátiles es similar en las dietas con harina de camelina, torta de camelina y harina de colza, mientras que los dos coproductos de camelina presentan una mayor producción de ácidos grasos volátiles que la dieta a base de soja. Las cuatro dietas no se diferencian en el perfil de fermentación, con excepción de la proporción de butirato que es similar en las dietas con torta de camelina, harina de camelina y harina de soja, mientras que la proporción de butirato es más elevada en la dieta con soja que en la dieta con harina de camelina.

2.3 La degradación proteica tiende a ser más elevada en la dieta con torta de camelina que en la de harina de camelina. Sin embargo, ésta última no se diferencia de la registrada en las dietas a base de harina de soja y de harina de colza. Estas diferencias de degradación proteica no se traducen en cambios en la concentración de nitrógeno amoniacal, ni en los flujos nitrogenados, a excepción del flujo de nitrógeno dietario que tiende a ser más elevado en la dieta a base de harina de camelina que en la torta de camelina, aunque ambos flujos no se diferencian de los obtenidos con las dietas con soja y colza. Tampoco hay diferencias entre dietas en la eficiencia de síntesis de proteína microbiana.

### 3. En referencia a los **efectos de la incorporación de torta de camelina en dietas para terneras en la fase de engorde en condiciones *in vivo***:

3.1 Al ofrecer simultáneamente dos dietas isoenergéticas e isoproteicas, una con un 14,6% sobre materia seca de torta de camelina y otra con un 15,8% sobre materia seca de harina de colza 00, la ingestión de materia fresca de la dieta con torta de camelina es inferior a la de la dieta con harina de colza 00. La adición de melaza

al 5% sobre materia fresca en ambas dietas no hace modificar los resultados de ingestión.

3.2 Cuando en una dieta con un 15,8% sobre materia seca de harina de colza 00 se sustituye ésta por torta de camelina en un 3%, 6% y 9% sobre materia seca, la ingestión de materia seca y de nutrientes, la digestibilidad aparente y los tiempos dedicados a comer y a rumiar registrados en terneras alimentadas con estas dietas no presentan diferencias.

3.3 Al aumentar el porcentaje de sustitución de la harina de colza 00 por torta de camelina del 0% al 9% de inclusión sobre materia seca, aumenta linealmente la ingestión de partículas grandes asociadas a la paja de cereal de la dieta. Además, las terneras alimentadas con las dietas con un mayor porcentaje de inclusión de torta de camelina no muestran comportamiento de selección en contra de partículas grandes, lo que sugiere que a mayor porcentaje de inclusión de torta de camelina, es mayor el consumo de paja.

3.4 La sustitución parcial de harina de colza 00 por torta de camelina, hasta un nivel de inclusión del 9% sobre materia seca, permite registrar resultados similares de ingestión, digestibilidad y de tiempos dedicados a la ingestión y a la rumia que los obtenidos con una dieta a base de harina de colza cuando son suministradas a terneras en la fase de engorde.

