



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

**Nuevos alimentos para el cebo de terneros:
efectos sobre los resultados productivos, las
características de la canal y la calidad de la
carne**

**New feeds for beef fattening: effects on productive
results, carcass traits and meat quality characteristics**

Tesis Doctoral presentada por D^a María José Moreno Díaz, bajo la dirección de los doctores Andrés Luis Martínez Marín del Departamento de Producción Animal de la Universidad de Córdoba y Fuensanta Hernández Ruipérez del Departamento de Producción Animal de la Universidad de Murcia, para acceder al grado de Doctor por la Universidad de Córdoba en el Programa de Doctorado *Recursos Naturales y Gestión Sostenible*.

En Córdoba, a tres de junio de 2021

TITULO: *Nuevos alimentos para el cebo de terneros: efectos sobre los resultados productivos, las características de la canal y la calidad de la carne*

AUTOR: *María José Moreno Díaz*

© Edita: UCOPress. 2021
Campus de Rabanales
Ctra. Nacional IV, Km. 396 A
14071 Córdoba

<https://www.uco.es/ucopress/index.php/es/ucopress@uco.es>



TÍTULO DE LA TESIS: Nuevos alimentos para el cebo de terneros: efectos sobre los resultados productivos, las características de la canal y la calidad de la carne.

DOCTORANDA: María José Moreno Díaz

INFORME RAZONADO DE LOS DIRECTORES DE LA TESIS

(se hará mención a la evolución y desarrollo de la tesis, así como a trabajos y publicaciones derivados de la misma).

El trabajo “Nuevos alimentos para el cebo de terneros: efectos sobre los resultados productivos, las características de la canal y la calidad de la carne” elaborado por Dña María José Moreno Díaz se ha desarrollado desde el año 2019 en distintas etapas con arreglo a los principios que rigen el trabajo científico. Los resultados obtenidos constituyen un valioso aporte al conocimiento de la composición química y valor nutricional de nuevas materias primas para alimentación animal como son los subproductos de la semilla de camelina, así como de los efectos de una alimentación rica en dichos y otros subproductos agroindustriales sobre la producción y calidad de la carne bovina. Los resultados contribuyen a la valorización de nuevos residuos agroindustriales disponibles en la cadena agroalimentaria, lo que entronca con los principios de la economía circular y la bioeconomía. Los resultados también ofrecen un soporte para el cambio del paradigma en la producción intensiva de bovinos de engorde, demostrando que es posible una alimentación alternativa, rica en subproductos agroindustriales y, por tanto, más sostenible. Con los resultados obtenidos se ha publicado hasta la fecha un artículo en la revista *Animals* y se han presentado dos comunicaciones a un congreso nacional.

Por todo ello, se autoriza la presentación de la Tesis Doctoral.

Córdoba, 24 de mayo de 2021

Firma de los directores

MARTINEZ
MARIN
ANDRES LUIS -
26476186N
Firmado digitalmente
por MARTINEZ MARIN
ANDRES LUIS -
26476186N
Fecha: 2021.05.24
06:52:33 +02'00'

Firmado por HERNANDEZ RUIPEREZ
FUENSANTA - 52802231G el día
25/05/2021 con un certificado emitido
por AC FNMT Usuarios

Fdo.: Andrés Luis Martínez Marín

Fdo.: Fuensanta Hernández Ruipérez

Agradecimientos

Es imposible no estar agradecida por su apoyo, entrega y dedicación, a mis Directores de Tesis, Dr. Andrés Luis Martínez Marín y Dra. Fuensanta Hernández Ruipérez. Cada paso que he ido dando en este camino no fuera sido posible sin su ayuda: cada comunicación, cada congreso, cada artículo, cada duda, en cualquier momento, siempre he recibido su atención y me han ayudado a avanzar.

Gracias a mis padres, a mi hermana y a mi pareja, que siempre están ahí para animarme a superarme e intentar ser mejor.

Gracias a los profesores y personal laboral de la Unidad de Nutrición y Alimentación Animal del Departamento de Producción Animal de la Universidad de Córdoba por contar conmigo como una más, no solo para la elaboración de mi Tesis sino en cualquier actividad investigadora llevada a cabo, lo cual me ha ayudado a enriquecerme profesional y personalmente.

Por último, he de señalar que los datos de la presente Tesis Doctoral fueron obtenidos gracias al apoyo financiero del Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial and CRIN Smart Growth Operating Program FEDER 2014–2020 a la empresa Iniciativas Alimentarias S.A. de Ciudad Real (España), proyecto con referencia INALSA IDI-20160001.

Nuevos alimentos para el cebo de
terneros: efectos sobre los resultados
productivos, las características de la canal
y la calidad de la carne

9ÍNDICE GENERAL

Índice de tablas.....	III
Índice de figuras.....	VI
Resumen.....	1
Summary.....	7
Revisión bibliográfica.....	13
Resumen.....	15
La producción de carne de vacuno en España.....	16
Alimentos para el ganado vacuno de carne.....	19
Camelina sativa y sus subproductos.....	20
Uso de la torta de camelina en Alimentación Animal.....	29
Digestibilidad, metabolismo ruminal y retención de nitrógeno.....	32
Relación de la alimentación con la producción y calidad de la carne de vacuno.....	37
Conclusiones.....	43
Justificación y objetivos.....	43
Capítulo I: caracterización química y nutricional de la semilla y los subproductos de camelina.....	49
Resumen.....	51
Introducción.....	52
Objetivos.....	53
Material y métodos.....	54
Resultados y discusión.....	56
Conclusiones.....	90

Capítulo II: digestibilidad y degradabilidad ruminal de los productos de camelina. Digestibilidad, retención de nitrógeno y metabolismo ruminal de un pienso rico en subproductos agroindustriales.....	93
Resumen.....	95
Introducción.....	96
Objetivos.....	97
Material y métodos.....	97
Resultados y discusión.....	106
Conclusiones.....	129
Capítulo III: efecto de un pienso rico en subproductos agroindustriales sobre los resultados productivos, las características de la canal y la calidad de la carne de terneras.....	131
Resumen.....	133
Introducción.....	134
Objetivos.....	136
Material y métodos.....	136
Resultados y discusión.....	145
Conclusiones.....	163
Conclusiones generales.....	165
Bibliografía.....	169

ÍNDICE DE TABLAS

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Tabla 1. Consumo de carne fresca en España por especies.....	17
Tabla 2. Conformación y grado de engrasamiento de las canales bovinas producidas en España en el año 2018.....	18
Tabla 3. Composición media de ácidos grasos de la grasa en 30 variedades de camelina.....	22
Tabla 4. Composición química de las semillas y los subproductos de camelina.....	23
Tabla 5. Sustancias antinutritivas en la semilla y subproductos de camelina.	26

CAPÍTULO I

Tabla 1. Composición química de la semilla de camelina.....	56
Tabla 2. Composición química de la torta de camelina.....	59
Tabla 3. Composición química de la harina de camelina.....	61
Tabla 4. Composición química de la cascarilla de camelina.....	63
Tabla 5. Contenidos medios de aminoácidos (% de la proteína bruta, PB) en la semilla y los subproductos de camelina.....	64
Tabla 6. Contenido de aminoácidos (en % de la materia seca) de la semilla de camelina.....	64
Tabla 7. Contenido de aminoácidos (en % de la materia seca) de la torta de camelina.....	67
Tabla 8. Contenido de aminoácidos (en % de la materia seca) de la harina de camelina.....	69
Tabla 9. Contenidos de aminoácidos (% sobre materia seca) en la cascarilla de camelina).....	71
Tabla 10. Modelos de regresión para la predicción del porcentaje de aminoácidos en la materia seca de la semilla, la torta y la harina de camelina a	

partir del porcentaje de proteína bruta (PB) en la materia seca.....	73
Tabla 11. Contenido de minerales de la semilla de camelina.....	75
Tabla 12. Contenido de minerales de la torta de camelina.....	78
Tabla 13. Contenidos de minerales en la harina y la cascarilla de camelina..	81
Tabla 14. Contenidos de otros minerales en la semilla y los subproductos de camelina.....	85
Tabla 15. Contenidos de glucosinolatos en la semilla de camelina y sus subproductos.....	86
Tabla 16. Valor energético calculado de la semilla y los subproductos de camelina para bovinos de carne.....	87

CAPITULO II

Tabla 1. Composición de ingredientes de los piensos experimentales.....	100
Tabla 2. Composición química analizada y valores nutritivos calculados de los piensos experimentales.....	101
Tabla 3. Digestibilidad total aparente de la materia seca de la ración basal y las raciones en las que el 20% del pienso basal (CON) se reemplazó por harina (HAR) o cascarilla (CAS) de camelina, así como digestibilidad de los concentrados correspondientes y los subproductos por diferencia.....	107
Tabla 4. Valores nutritivos calculados a partir de la digestibilidad determinada de la materia seca de la torta y la cascarilla de camelina.....	109
Tabla 5. Degradabilidad ruminal <i>in situ</i> de la materia seca y la proteína de los productos de camelina.....	112
Tabla 6. Digestibilidad total aparente de la materia seca y la proteína bruta y retención aparente de nitrógeno de raciones con tres piensos para corderos y digestibilidad de los piensos por diferencia.....	116
Tabla 7. Evolución de los parámetros ruminales en corderos en respuesta al consumo de raciones con dos piensos de diferente composición.....	119

CAPITULO III

Tabla 1. Composición de ingredientes de los piensos experimentales.....	137
Tabla 2. Composición química y valor nutritivo de los piensos experimentales.....	139
Tabla 3. Resultados productivos de novillas cruzadas de raza Limusín cebadas con un concentrado convencional (CON) o un concentrado rico en subproductos agroindustriales (ALT).....	148
Tabla 4. Características de la canal de novillas cruzadas de raza Limusín cebadas con un concentrado convencional (CON) o un concentrado rico en subproductos agroindustriales (ALT).....	150
Tabla 5. Valores de pH final, pérdidas por cocinado (CL, %), resistencia al corte (WBSF, kg/cm ²) y sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS, mg malonaldehído/kg de carne) de la carne de novillas cruzadas de raza Limusín cebadas con un concentrado convencional (CON) o un concentrado rico en subproductos agroindustriales (ALT) y madurada durante 7, 21 o 28 días...	152
Tabla 6. Pérdidas por goteo (DL, %) e índices cromáticos (L*, luminosidad; a*, índice de rojo; b*, índice de amarillo; C*, cromas; h*, hue) de la carne de novillas cruzadas de raza Limusín cebadas con un concentrado convencional (CON) o un concentrado rico en subproductos agroindustriales (ALT), madurada durante 7, 21 o 28 días y expuesta aeróbicamente durante 24, 48 o 72 horas.....	157
Tabla 7. Índice de variación del color (ΔE), estabilidad del color superficial (SCE) y porcentajes de pigmentos (MMb, metamioglobina; DMb, deoximioglobina; OMb, oximioglobina) de la carne de novillas cruzadas de raza Limusín cebadas con un concentrado convencional (CON) o un concentrado rico en subproductos agroindustriales (ALT), madurada durante 7, 21 o 28 días y expuesta aeróbicamente durante 24, 48 o 72 horas.....	160

ÍNDICE DE FIGURAS

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Figura 1. Sacrificio de bovinos para carne en España por categorías.....	16
Figura 2. Contribución de los productos animales a la producción final ganadera.....	17
Figura 3. Cultivo, planta y semilla de camelina.....	21
Figura 4. Relación entre la ración y las características de la canal y la calidad de la carne de vacuno.....	37
Figura 5. Estados redox de la mioglobina.....	41

CAPÍTULO I

Figura 1. Composición química de la semilla de camelina (CAM) hallada en el presente trabajo en comparación con la composición de las semillas de soja (SOJ), colza (COL), girasol (GIR) y lino (LIN) según FEDNA (2019).....	57
Figura 2. Composición química de la torta de camelina (CAM) hallada en el presente trabajo en comparación con la composición de las tortas de colza 12,7 (COL) y girasol 9,0 (GIR) según FEDNA (2019).....	60
Figura 3. Composición química de la harina de camelina (CAM) hallada en el presente trabajo en comparación con la composición de las harinas de soja 44 (SOJ), colza 36 (COL) y girasol 36 (GIR) según FEDNA (2019).....	61
Figura 4. Composición química de la cascarilla de camelina (CAM) hallada en el presente trabajo en comparación con la composición de las cascarillas de soja (SOJ) y girasol (GIR) según FEDNA (2019).....	63
Figura 5. Contenidos de algunos aminoácidos esenciales en la semilla de camelina (CAM) determinados en el presente trabajo en comparación con los contenidos de las semillas de soja (SOJ), colza (COL), girasol (GIR) y lino (LIN) según FEDNA (2019).....	68
Figura 6. Contenidos de algunos aminoácidos esenciales en la torta de camelina (CAM) hallados en el presente trabajo en comparación con los	

contenidos de las tortas de colza 12,7 (COL) y girasol 9,0 (GIR) según FEDNA (2019).....	68
Figura 7. Contenidos de algunos aminoácidos esenciales en la harina de camelina (CAM) hallados en el presente trabajo en comparación con los contenidos de las harinas de soja 44 (SOJ), colza 36 (COL) y girasol 36 (GIR) según FEDNA (2019).....	70
Figura 8. Contenidos de algunos aminoácidos esenciales en la cascarilla de camelina (CAM) hallados en el presente trabajo en comparación con los contenidos de las cascarillas de soja (SOJ) y girasol (GIR) según FEDNA (2019).....	72
Figura 9. Contenidos de macrominerales en la semilla de camelina (CAM) hallados en el presente trabajo en comparación con los contenidos de las semillas de soja (SOJ), colza (COL), girasol (GIR) y lino (LIN) según FEDNA (2019).....	76
Figura 10. Contenidos de oligoelementos en la semilla de camelina (CAM) hallados en el presente trabajo en comparación con los contenidos de las semillas de soja (SOJ), colza (COL), girasol (GIR) y lino (LIN) según FEDNA (2019).....	77
Figura 11. Contenidos de macrominerales en la torta de camelina (CAM) hallados en el presente trabajo en comparación con los contenidos de tortas de colza 12,7 (COL) y girasol 9,0 (GIR) según FEDNA (2019).....	79
Figura 12. Contenidos de algunos oligoelementos en la torta de camelina (CAM) hallados en el presente trabajo en comparación con los contenidos de tortas de colza 12,7 (COL) y girasol 9,0 (GIR) según FEDNA (2019).....	80
Figura 13. Contenidos de macrominerales en la harina de camelina (CAM) hallados en el presente trabajo en comparación con los contenidos de las harinas de soja 44 (SOJ), colza 36 (COL) y girasol 36 (GIR) según FEDNA (2019).....	80
Figura 14. Contenidos de algunos oligoelementos en la harina de camelina (CAM) hallados en el presente trabajo en comparación con los contenidos de las harinas de soja 44 (SOJ), colza 36 (COL) y girasol 36 (GIR) según FEDNA (2019).....	82

Figura 15. Contenidos de macrominerales en la cascarilla de camelina (CAM) hallados en el presente trabajo en comparación con los contenidos de las cascarillas de soja (SOJ) y girasol (GIR) según FEDNA (2019).....	83
Figura 16. Contenidos de algunos oligoelementos en la cascarilla de camelina (CAM) hallados en el presente trabajo en comparación con los contenidos de las cascarillas de soja (SOJ) y girasol (GIR) según FEDNA (2019).....	83
Figura 17. Energía neta para engorde de la semilla de camelina (CAM) calculada con los resultados del presente trabajo en comparación con los contenidos de las semillas de soja (SOJ), colza (COL), girasol (GIR) y lino (LIN) según FEDNA.....	88
Figura 18. Energía neta para engorde de la torta de camelina (CAM) calculada con los resultados del presente trabajo en comparación con los contenidos de las tortas de colza 12,7 (COL) y girasol 9,0 (GIR) según FEDNA (2019).....	89
Figura 19. Energía neta para engorde de la harina de camelina (CAM) calculada con los resultados del presente trabajo en comparación con los contenidos de las harinas de soja 44 (SOJ), colza 36 (COL) y girasol 36 (GIR) según FEDNA (2019).....	89
Figura 20. Energía neta para engorde de la cascarilla de camelina (CAM) calculada con los resultados del presente trabajo en comparación con los contenidos de las cascarillas de soja (SOJ) y girasol (GIR) según FEDNA (2019).....	90

CAPÍTULO II

Figura 1. Digestibilidad de la materia orgánica de la torta de camelina (CAM) calculada a partir de los resultados del presente trabajo en comparación con la digestibilidad de la materia orgánica de las tortas de colza 12,7 (COL) y girasol 9 (GIR) según INRA (2018).....	110
Figura 2. Digestibilidad de la materia orgánica de la cascarilla de camelina (CAM) calculada a partir de los resultados del presente trabajo en comparación con la digestibilidad de la materia orgánica de las cascarillas de soja (SOJ) y girasol (GIR) según INRA (2018).....	110
Figura 3. Cinética de degradación ruminal <i>in situ</i> de la materia seca de los productos de camelina.....	113

Figura 4. Cinética de degradación ruminal <i>in situ</i> de la proteína bruta de la torta y la harina de camelina.....	113
Figura 5. Evolución temporal del pH del líquido ruminal en corderos que consumieron una ración cuyo pienso estuvo basado en cereales y harina de soja (CON) o fue rico en subproductos agroindustriales (FIB).....	120
Figura 6. Evolución temporal del amoníaco en el líquido ruminal de corderos que consumieron una ración cuyo pienso estuvo basado en cereales y harina de soja (CON) o fue rico en subproductos agroindustriales (FIB).....	121
Figura 7. Evolución temporal del ácido láctico en el líquido ruminal de corderos que consumieron una ración cuyo pienso estuvo basado en cereales y harina de soja (CON) o fue rico en subproductos agroindustriales (FIB).....	123
Figura 8. Evolución temporal de los ácidos grasos volátiles totales en el líquido ruminal de corderos que consumieron una ración cuyo pienso estuvo basado en cereales y harina de soja (CON) o fue rico en subproductos agroindustriales (FIB).....	123
Figura 9. Evolución temporal del ácido acético en el líquido ruminal de corderos que consumieron una ración cuyo pienso estuvo basado en cereales y harina de soja (CON) o fue rico en subproductos agroindustriales (FIB).....	125
Figura 10. Evolución temporal del ácido propiónico en el líquido ruminal de corderos que consumieron una ración cuyo pienso estuvo basado en cereales y harina de soja (CON) o no incluyó cereales ni harina de soja y fue rico en subproductos agroindustriales (FIB).....	126
Figura 11. Evolución temporal del ácido butírico en el líquido ruminal de corderos que consumieron una ración cuyo pienso estuvo basado en cereales y harina de soja (CON) o no incluyó cereales ni harina de soja y fue rico en subproductos agroindustriales (FIB).....	127
Figura 12. Evolución temporal del ácido isobutírico en el líquido ruminal de corderos que consumieron una ración cuyo pienso estuvo basado en cereales y harina de soja (CON) o fue rico en subproductos agroindustriales (FIB)....	128
Figura 13. Evolución temporal del ácido isovalérico en el líquido ruminal de corderos que consumieron una ración cuyo pienso estuvo basado en cereales y harina de soja (CON) o fue rico en subproductos agroindustriales (FIB)....	128

CAPÍTULO III

- Figura 1.** Evolución temporal del pH de la carne de novillas cruzadas de raza Limusín cebadas con un concentrado convencional (CON) o un concentrado rico en subproductos agroindustriales (ALT) y madurada durante 7, 21 o 28 días..... 153
- Figura 2.** Evolución temporal de la resistencia al corte (WBSF) de la carne de novillas cruzadas de raza Limusín cebadas con un concentrado convencional (CON) o un concentrado rico en subproductos agroindustriales (ALT) y madurada durante 7, 21 o 28 días..... 153
- Figura 3.** Evolución temporal de las pérdidas por cocinado (CL) de la carne de novillas cruzadas de raza Limusín cebadas con un concentrado convencional (CON) o un concentrado rico en subproductos agroindustriales (ALT) y madurada durante 7, 21 o 28 días..... 154
- Figura 4.** Evolución temporal de las sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS) de la carne de novillas cruzadas de raza Limusín cebadas con un concentrado convencional (CON) o un concentrado rico en subproductos agroindustriales (ALT) y madurada durante 7, 21 o 28 días..... 155
- Figura 5.** Evolución temporal de las pérdidas por goteo (DL) de la carne de novillas cruzadas de raza Limusín cebadas con un concentrado convencional (CON) o un concentrado rico en subproductos agroindustriales (ALT), madurada durante 7, 21 o 28 días y expuesta aeróbicamente durante 24, 48 o 72 horas..... 158
- Figura 6.** Evolución temporal de las medidas de color (L^* , luminosidad; a^* , índice de rojo; b^* , índice de amarillo; C^* , croma; h^* , hue) de la carne de novillas cruzadas de raza Limusín cebadas con un concentrado convencional (CON) o un concentrado rico en subproductos agroindustriales (ALT), madurada durante 7, 21 o 28 días y expuesta aeróbicamente durante 24, 48 o 72 horas..... 159
- Figura 7.** Evolución temporal del índice de variación del color (ΔE) de la carne de novillas cruzadas de raza Limusín cebadas con un concentrado convencional (CON) o un concentrado rico en subproductos agroindustriales (ALT), madurada durante 7, 21 o 28 días y expuesta aeróbicamente durante 24, 48 o 72 horas..... 161

Figura 8. Evolución temporal de la estabilidad del color superficial (SCS) de la carne de novillas cruzadas de raza Limusín cebadas con un concentrado convencional (CON) o un concentrado rico en subproductos agroindustriales (ALT), madurada durante 7, 21 o 28 días y expuesta aeróbicamente durante 24, 48 o 72 horas..... 162

Figura 9. Evolución temporal de los porcentajes de pigmentos (MMb, metamioglobina; DMb, deoximioglobina; OMb, oximioglobina) de la carne de novillas cruzadas de raza Limusín cebadas con un concentrado convencional (CON) o un concentrado rico en subproductos agroindustriales (ALT), madurada durante 7, 21 o 28 días y expuesta aeróbicamente durante 24, 48 o 72 horas..... 163

RESUMEN

Resumen

La producción de carne bovina en España se basa mayoritariamente en un sistema intensivo de alimentación que no aprovechan el potencial de los rumiantes para utilizar subproductos agroindustriales. En el mercado nacional de materias primas para alimentación animal están disponibles desde hace poco tiempo los subproductos resultantes de la extracción del aceite de la semilla de *Camelina sativa*, pero existen pocos estudios sobre su aprovechamiento en rumiantes. Tanto el rendimiento productivo de los bovinos de engorde como los atributos de calidad de su carne dependen fuertemente de la composición de la alimentación que se les suministra. Para contribuir al cambio de paradigma en la alimentación del vacuno para carne es necesario caracterizar química y nutricionalmente los nuevos subproductos agroindustriales y establecer su valor nutritivo, así como investigar los efectos que una alimentación rica en subproductos agroindustriales puede tener sobre los resultados productivos y la calidad de la carne. Los objetivos de la presente Tesis se distribuyeron en tres capítulos. El objetivo del Capítulo 1 fue estudiar extensamente la composición química y nutricional de la semilla y los subproductos de *Camelina sativa* producidos en España. Los resultados obtenidos se compararon con los reportados por otros autores y con las materias primas análogas tradicionales. Los valores obtenidos presentaron ligeras diferencias con los valores medios derivados de trabajos previamente publicados. No se encontraron niveles tóxicos de minerales de toxicidad conocida ni contenidos elevados de glucosinolatos, que son los principales compuestos antinutricionales de estas materias primas. Se observó que la composición está en línea con la de otras materias primas similares, situándose en una posición intermedia entre los productos de soja y los de colza, girasol y lino, lo que sugiere que podrían tener los mismos usos que estos en la alimentación de rumiantes. Los objetivos del Capítulo 2 fueron estudiar tanto la digestibilidad y la degradabilidad ruminal de los subproductos de camelina, como la digestibilidad, la retención de nitrógeno y el metabolismo ruminal de un pienso rico en subproductos agroindustriales.

Las pruebas de digestibilidad total aparente y degradabilidad *in situ* mostraron que el aprovechamiento digestivo de la torta y la harina de camelina en los rumiantes es elevado y equiparable al de otras materias primas análogas. Sin embargo, la cascarilla de camelina tiene un valor nutritivo inferior a la cascarilla de soja. En general, los resultados obtenidos confirmaron que los subproductos de camelina son útiles para reemplazar total o parcialmente a las materias primas tradicionales obtenidas de la soja. En este sentido, se comprobó que la sustitución del 50% de la proteína bruta de harina de soja en el pienso por proteína bruta de harina de camelina no afecta a la digestibilidad total aparente del pienso ni a la retención corporal aparente de nitrógeno de la ración; por el contrario, la sustitución de los cereales y la harina de soja por una variedad de subproductos agroindustriales en el pienso reduce ambos valores. No obstante, el estudio del metabolismo ruminal *in situ* demostró que dicho pienso basado en subproductos agroindustriales, en comparación con un pienso convencional basado en cereales y harina de soja, resulta en una variación mucho menor del pH ruminal y no altera la producción de ácido láctico después de la comida. El objetivo del Capítulo 3 fue establecer los efectos de un pienso rico en subproductos agroindustriales sobre los resultados productivos, las características de la canal y la calidad de la carne en bovinos de engorde. No se encontraron diferencias en la ganancia media diaria, los costes de alimentación ni en las características de la canal y la carne. El tratamiento tampoco mostró interacciones con el tiempo de maduración y el tiempo de exposición aeróbica, pero estos tuvieron un profundo efecto sobre las características de la carne relacionadas con sus atributos sensoriales. La maduración de la carne durante más días fue necesaria para lograr menor resistencia al corte y menores pérdidas por goteo. El tiempo de maduración más prolongado mejoró la luminosidad de la carne, pero empeoró el índice de rojo y aumentó el contenido de metamioglobina. Estos dos últimos efectos se agravaron con el tiempo de exposición aeróbica. En conclusión, los resultados obtenidos contribuyen al conocimiento de la composición química y

Resumen

nutricional y el valor nutritivo de la semilla y los subproductos de camelina y demuestran que son materias primas potencialmente útiles en la alimentación de los rumiantes. Un pienso rico en subproductos agroindustriales no afecta a la calidad de la carne bovina y su menor valor energético se compensa con un mayor consumo, sin cambios en los gastos de alimentación por el menor coste, lo que previene efectos negativos sobre los resultados productivos. Por último, es importante señalar que los tiempos de maduración y exposición aeróbica de la carne y su interacción son importantes factores a tener en cuenta para lograr el equilibrio más favorable de los atributos sensoriales, color y ternura, considerados más relevantes por los consumidores.

SUMMARY

Summary

Beef production in Spain is mainly based on an intensive feeding system that do not take advantage of the ruminants' potential to use agro-industrial by-products. By-products resulting from the extraction of oil from the seed of *Camelina sativa* have recently become available in the national market of feedingstuffs, but information of their use in ruminants is still limited. Both the productive performance of beef cattle and the quality attributes of their meat strongly depend on the composition of the feed supplied. To contribute to the paradigm shift in beef cattle feeding, it is necessary to characterize chemically and nutritionally the new agro-industrial by-products and establish their nutritional value, as well as to investigate the effects that a diet rich in agro-industrial by-products may have on animal performance and meat quality. The objectives of this Thesis were distributed in three chapters. The objective of Chapter 1 was to study extensively the chemical and nutritional composition of the seed and seed by-products of *Camelina sativa* produced in Spain. The results were compared with those reported by other authors and with traditional analogous feedingstuffs. The obtained values showed slight differences with the mean values derived from previously published works. No were found toxic levels of minerals of known toxicity nor were observed high levels of glucosinolates, which are the main antinutritional compounds present in these feedingstuffs. It was observed that the composition was in line with that of analogous feedingstuffs, showing an intermediate position between soybean products and rapeseed, sunflower and flax products, which suggests that camelina seed and by-products could have the same uses as those ruminants' feeding. The objectives of Chapter 2 were to study both the digestibility and ruminal degradability of camelina by-products, as well as the digestibility, nitrogen retention and ruminal metabolism of a feed rich in agro-industrial by-products. The results of total apparent digestibility and *in situ* degradability showed that the digestive utilization of both camelina cake and meal is high in ruminants and comparable to that of analogous feedingstuffs. However, camelina hulls have lower nutritional value than soybean hulls.

In general, the obtained results confirmed that the camelina by-products are useful to fully or partially replace the traditional feedingstuffs obtained from soybeans. In this sense, it was found that the substitution of 50% of the crude protein from soybean meal for the same amount of protein from camelina meal in the concentrate feed does not affect the total apparent digestibility of the concentrate feed or the apparent nitrogen retention of the ration; in contrast, the substitution of cereals and soybean meal for a variety of agro-industrial by-products in the concentrate feed reduced both values. Nevertheless, the *in situ* study of ruminal metabolism showed that the concentrate feed based in agro-industrial by-products, compared to a conventional feed based on cereals and soybean meal, resulted in a much lower variation of the ruminal pH and did not alter the production of lactic acid after feeding. The objective of Chapter 3 was to establish the effects of a feed rich in agro-industrial by-products on the productive results, carcass characteristics and meat quality traits of fattening cattle. It was observed that there were no differences in the average daily gain and feed costs or in carcass characteristics and meat traits. Experimental treatments did not interact with ageing time and aerobic display length of meat, but these had a deep effect on the characteristics of the meat related to its sensory attributes. Meat ageing for more days was necessary to achieve lower shear force and drip losses. The longest ageing time improved meat lightness, but worsened its redness due to an increase in the metmyoglobin content. These last two effects worsened with aerobic display length. In conclusion, the obtained results contribute to the knowledge of the chemical and nutritional composition and the nutritional value of the seed and by-products of camelina and demonstrate that they are potentially useful feedingstuffs in ruminant's feeding. A concentrate feed rich in agro-industrial by-products does not affect the quality of beef and its lower energy value is offset by a lower cost and higher consumption, without changes in feeding costs, which prevents negative effects on production results. Finally, it is important to point out that meat ageing time, aerobic

Summary

display length and their interaction are important factors to take into account to achieve the most favorable balance of the sensorial attributes, color and tenderness, considered most relevant by consumers.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Resumen

España es un importante productor de carne bovina de la Unión Europea. La producción se basa mayoritariamente en sistemas intensivos de alimentación, con piensos basados en cereales y harina de soja, que se complementan con una cantidad mínima de paja de cereales. Dichos piensos, no aprovechan la capacidad de los rumiantes para aprovechar alimentos ricos en fibra como son muchos de los subproductos agroindustriales generados, siendo contrarios a los principios de la economía circular y la sostenibilidad. Entre dichos subproductos, los derivados de la extracción del aceite de la semilla de camelina son de aparición relativamente reciente en el mercado de materias primas y se espera que su disponibilidad aumente debido al interés por este cultivo. La enorme mayoría de estudios sobre la composición química y nutricional de los productos de camelina se han llevado fuera de España. Más aún, la información sobre la cascarilla de camelina es extremadamente limitada. Las pruebas de digestibilidad, metabolismo ruminal y balance de nitrógeno son las piedras angulares para establecer el valor nutritivo y uso potencial de las nuevas materias disponibles para los rumiantes. Además, deben considerarse los efectos de dichas materias primas sobre los resultados productivos y la calidad de la carne. Es bien conocido que la alimentación puede afectar a la productividad por cambios digestivos y metabólicos. La percepción sensorial de frescura, ternera, jugosidad y palatabilidad de la carne puede relacionarse con medidas instrumentales de color, pérdidas por goteo, resistencia al corte y pérdidas por cocinado. El color y la ternera están además fuertemente influidos por las condiciones de conservación de la carne (tiempos de maduración y exposición). Existen muy pocos trabajos publicados, y ninguno en España, que hayan investigado los efectos de un pienso rico en subproductos agroindustriales para bovinos sobre la producción y calidad de la carne, a la par que hayan examinado los efectos de los tiempos de maduración y exposición sobre las características instrumentales de la carne.

La producción de carne de vacuno en España

Según datos del MAPAMA del año 2018, España ocupa la quinta posición europea en el censo de ganado vacuno, correspondiendo más del 70% al ganado vacuno de carne (vacas nodrizas y animales de cebo). Concretamente se contabilizan un total de 20.357 granjas de cebo (18% menos que en el año 2000) y una producción cárnica de 666.632 t/año (2.526.890 cabezas sacrificadas anualmente), correspondiente mayoritariamente a animales de 8 a 24 meses de edad (64% de la producción total, 38,7% entre 8 y 12 meses de edad) (**Figura 1**). La contribución de la carne de vacuno a la producción final ganadera y agraria españolas supone el 17,5 y 6,3% del total, respectivamente (MAPAMA, 2019a) (**Figura 2**). Desafortunadamente, el consumo interno manifiesta una tendencia a la baja durante los últimos años, con un valor de 4,9 kg por persona y año, que solamente representa el 6,8% del consumo total de carne fresca per cápita (MAPAMA, 2019b) (**Tabla 1**).

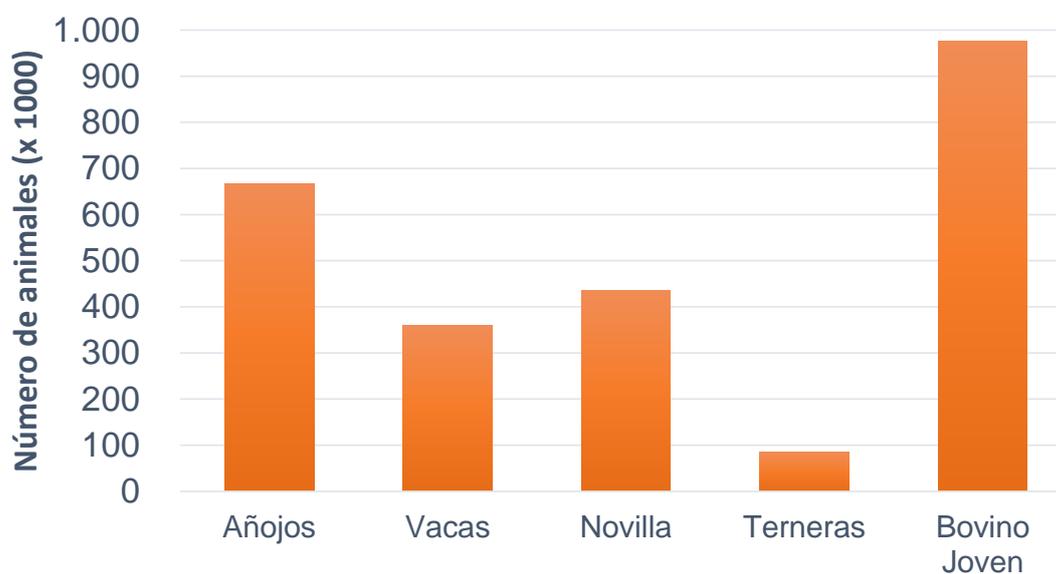


Figura 1. Sacrificio de bovinos para carne en España por categorías (añojos, 12 a 24 meses; vacas, animales de desecho; novillas, más de 12 meses; terneras, menos de 8 meses; bovino joven, 8 a 12 meses). Elaborado a partir de MAPAMA (2019a).

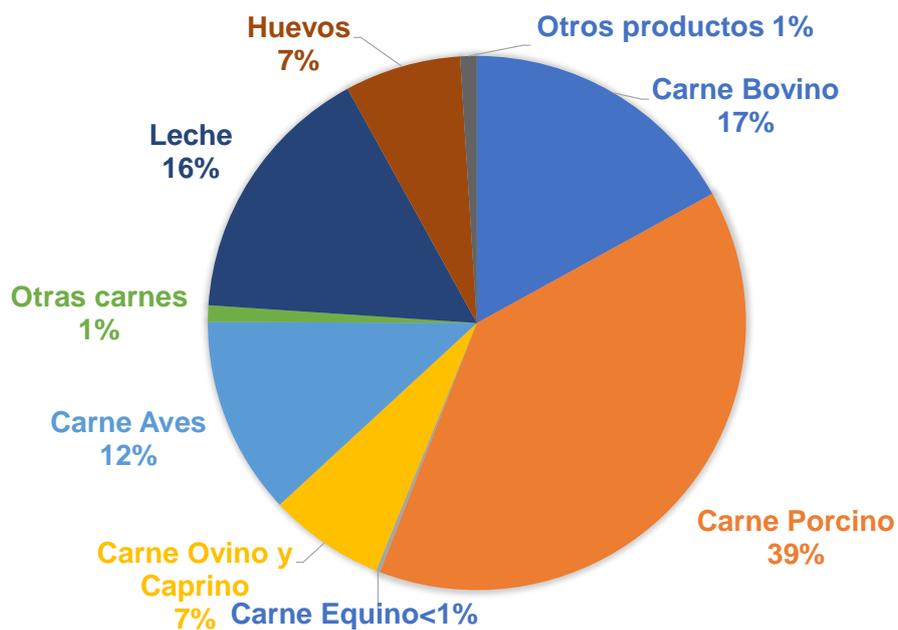


Figura 2. Contribución de los productos animales a la producción final ganadera. Elaborado a partir de MAPAMA (2019a).

Tabla 1. Consumo de carne fresca en España por especies.

Producto	kg/persona/día
Carne fresca	33,48
Vacuno	4,90
Pollo	12,57
Ovino/caprino	1,36
Cerdo	9,99
Conejo	0,97
Despojos	0,89

Elaborado a partir de MAPAMA (2019b).

El sistema predominante de producción de bovinos para carne es intensivo (MAPAMA, 2019a), siendo esta prácticamente la única alternativa en el centro y sur de España, donde las características climatológicas hacen que la disponibilidad de pastos sea muy escasa (Terradillos et al., 2004). La ración de los sistemas intensivos se compone casi exclusivamente por pienso concentrado, con un aporte mínimo de paja de cereales para garantizar la función ruminal (Guerrero et al., 2013), con el fin de conseguir elevadas tasas de crecimiento y alcanzar el peso de sacrificio a edades relativamente bajas y producir canales bien conformadas y con bajo grado de engrasamiento (70% con conformación R –buena– y U –muy buena– frente al 55% de la media europea, y un grado de engrasamiento de entre 2 y 3 en una escala 1-5; MAPAMA, 2019c) (**Tabla 2**), acordes a los gustos del mercado nacional (Provacuno, 2018).

Tabla 2. Conformación y grado de engrasamiento de las canales bovinas producidas en España en el año 2018.

Animales	Categoría	- Engrasamiento +					Total
		1	2	3	4	5	
8-12 meses	S, superior	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%
	E, excelente	0,6%	4,1%	0,6%	0,0%	0,0%	5,3%
	U, muy buena	0,2%	6,4%	10,9%	0,1%	0,0%	17,6%
	R, buena	0,5%	7,2%	20,4%	0,3%	0,0%	28,4%
	O, menos buena	0,3%	23,0%	18,9%	0,1%	0,0%	42,3%
	P, mediocre	0,6%	2,4%	3,4%	0,0%	0,0%	6,3%
	Total	2,2%	43,0%	54,2%	0,6%	0,0%	100%
12-24 meses	S, superior	0,0%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%
	E, excelente	1,5%	7,2%	2,9%	0,0%	0,0%	11,5%
	U, muy buena	0,9%	24,5%	20,3%	0,4%	0,0%	46,1%
	R, buena	0,3%	13,7%	9,4%	0,2%	0,0%	23,4%
	O, menos buena	0,4%	9,3%	4,4%	0,0%	0,0%	14,2%
	P, mediocre	0,7%	3,2%	0,4%	0,0%	0,0%	4,3%
	Total	3,8%	58,1%	37,4%	0,7%	0,0%	100%

Elaborado a partir de MPAMA (2019c).

Alimentos para el ganado vacuno de carne

Se ha calculado que solamente entre el 6 y 26% de la energía consumida y entre el 6 y 21% de la proteína consumida por los rumiantes es recuperada en sus producciones, pero los valores de estos rangos se elevan hasta el 65 y 374% y el 119 y 1430% en el caso de la energía y la proteína, respectivamente, cuando se expresan como una relación entre los recursos alimenticios obtenidos para el ser humano y los recursos alimenticios para el ser humano empleados en la obtención de los productos de los rumiantes (Gill et al., 2010). Estos valores reflejan la capacidad de los rumiantes para sostener sus producciones alimentándose con materias primas que no compiten con la alimentación de otros animales de granja ni con el ser humano.

Los piensos usados en el cebo de vacuno en España están mayoritariamente compuestos por cereales y harina de soja, como fuentes de energía y proteína, respectivamente, y son complementados con una baja proporción de paja de cereales como fuente de volumen (García-Rebollar et al., 2008; Carrasco et al., 2017). El abundante uso de cereales y harina de soja en la ración tiene dos consecuencias negativas: la competencia con la alimentación humana y de aves y cerdos, que además hace que el precio de estas materias primas sea normalmente elevado, y la falta de aprovechamiento de la capacidad de los rumiantes para la utilización digestiva de materias primas ricas en fibra que no solo no son útiles en la alimentación de monogástricos sino que suponen un menor riesgo para la salud ruminal (McNeill, 2013, Chibisa et al., 2016). Más aún, los costes de alimentación de bovinos para carne en España se sitúan entre los más altos de los principales países productores de la Unión Europea, con valores entre 99 y 145 €/100 kg de canal, y suponen alrededor del 30% de los costes de producción, ocupando el segundo lugar de estos tras el coste de compra de los animales (MAPAMA, 2019d). Adicionalmente, el desaprovechamiento de otros recursos alimenticios potencialmente útiles se opone a los principios de la bioeconomía y la economía circular agroalimentaria, que establecen la necesidad del

aprovechamiento y la valorización de los subproductos de la producción agrícola y su industria mediante la reincorporación a la cadena de valor agroalimentaria, y reduce la eficiencia de la producción animal (Bugge et al., 2016; Wadhwa et al., 2015; Wilkinson, 2011).

Durante las últimas décadas, la presión política y social para reducir la contaminación resultante de las actividades agroindustriales y el coste del procesado de los residuos generados han conducido a la industria transformadora a una modificación progresiva de sus procesos productivos, con el fin de que los subproductos generados puedan ser reutilizados (Salami et al., 2019). Esto se ha unido a un interés creciente en el sector de la Alimentación Animal por buscar materias primas alternativas a los cereales y la harina de soja en los concentrados de vacuno de cebo que podrían reducir los costes de alimentación y proteger la salud ruminal (Campos et al., 2014; Estaún et al., 2014; Oishi et al., 2011; Shi et al., 2014; Tayengwa et al., 2020). Sin embargo, para el uso adecuado de dichos subproductos en la alimentación es necesario en primer lugar establecer su composición química y valor nutritivo (Shi et al., 2014; Supapong et al., 2014; Winterholler et al., 2009), para luego valorar los efectos que las raciones que los incluyen puedan tener sobre los resultados productivos, las características de la canal y la calidad de la carne (Cuvelier, et al., 2006; Santos-Silva et al., 2020; Tayengwa et al., 2020).

Camelina sativa y sus subproductos

En años recientes, los subproductos de la semilla de camelina (*Camelina sativa*) se han introducido como nuevas materias primas en el mercado español de Alimentación Animal. La camelina o falso lino (**Figura 3**) es una crucífera como la colza (familia *Brassicaceae*), originaria del sudeste de Europa y el suroeste de Asia cuya historia se remonta más de 4000 años hasta la Edad del Bronce (Eynck y Falk, 2013). Es un cultivo anual de invierno en zonas templadas, resistente a la sequía, heladas y

Revisión bibliográfica

patógenos, y que requiere pocas labores y tratamientos, aunque su productividad es escasa con valores entre 1000 y 3000 kg/ha (Bacenetti et al., 2017; Zanetti et al., 2017). La semilla de camelina contiene entre 37,3 y 46,3% de aceite, con un valor medio de 41,7% (Vollmann et al., 2005), que es rico en ácido α -linolénico (Belayneh et al., 2015; Quezada y Cherian, 2012) con contenidos entre 29 y 36% en los ácidos grasos totales según la variedad (Vollmann et al., 2007) (**Tabla 3**). El elevado contenido de aceite de la semilla y su composición de ácidos grasos ha despertado mucho interés, ya que muestra potencial tanto para la producción de biodiesel y derivados químicos como para la inclusión en la dieta humana y animal, y ha contribuido a la extensión de su cultivo en América del Norte y Europa (Berti et al., 2016; Waraich et al., 2013).



Figura 3. Cultivo, planta y semilla de camelina.

Tabla 3. Composición media de ácidos grasos de la grasa en 30 variedades de camelina (contenido medio de grasa: 43,7%).

Ácido graso	% sobre el total de ácidos grasos
Ácido palmítico, C16:0	6,29
Ácido esteárico, C18:0	2,73
Ácido oleico, C18:1	16,50
Ácido linoleico, C18:2	17,73
Ácido linolénico, C18:3	32,55
Ácido eicosenoico, C20:1	15,60
Ácido erúcico, C22:1	3,15

Valores tomados de Vollmann et al. (2007).

En el procesado de la semilla de camelina para la obtención de aceite se obtienen como subproductos la cascarilla y la harina (Carr, 1995). La cascarilla corresponde a las envolturas de las semillas y restos de granos partidos, que se separan por medios mecánicos previamente al procesado para la extracción de aceite, mientras que la harina está constituida por las capas de la semilla que protegen al germen y el propio germen, una vez extraído el aceite. El contenido de aceite en la harina depende del sistema de extracción, lo que permite diferenciar dos subproductos: torta de prensado (expeller) cuando la extracción es mecánica, con un contenido graso elevado y muy variable según la eficacia del proceso, y harina propiamente dicha cuando la extracción se realiza con solventes, dejando menos del 4% de grasa bruta (FEDNA, 2019). La cascarilla no está registrada aún como materia prima para Alimentación Animal en la Unión Europea, pero sí lo están la semilla, la torta de prensado y la harina (UE, 2017).

En cuanto a la composición química y valor nutritivo, los datos disponibles más completos corresponden a la recopilación en dos revisiones bibliográficas de 12 y 5 trabajos de investigación realizados fuera de España entre los años 1997 y 2018 y

centrados en la torta expeller (Heuzé et al., 2017; Paula et al., 2019) (**Tabla 4**). La composición de la semilla ha sido menos estudiada y también por grupos de investigación foráneos (Almeida et al., 2013; Brandao et al., 2018; Colombini et al., 2014; Czarnik et al., 2017; Hurtaud y Peyraud, 2007; Peng et al., 2014; Vollmann et al., 2007; Zubr, 2003a; Zubr, 2003b). Solamente hemos encontrado una referencia a la composición de la harina y la cascarilla de camelina (Salas et al., 2017). Los datos disponibles indican que la semilla de camelina tiene más proteína bruta y menos grasa bruta que la semilla de colza, la torta de camelina tiene más proteína bruta y menos grasa bruta que la torta de colza 12%EE, la harina de camelina tiene una composición similar a la harina de colza, y la cascarilla de camelina tiene igual fibra neutro detergente, pero más lignina que la cascarilla de soja (FEDNA, 2019; Heuzé et al., 2017; Paula et al., 2019; Salas et al., 2017).

Tabla 4. Composición química de las semillas y los subproductos de camelina.

Parámetro	Producto			
	Semilla ¹	Torta ²	Harina ³	Cascarilla ³
Materia seca (MS), %	93,4	91,4	91,5	92,1
Cenizas, % MS	3,9	6,4	5,7	5,4
Proteína bruta, % MS	25,2	38,8	39,5	9,0
Grasa bruta, % MS	35,5	11,3	1,3	5,4
Fibra neutro detergente, % MS	18,3	32,0	37,5	54,9
Fibra ácido detergente, % MS	8,9	20,9	17,4	34,8
Lignina, % MS	1,3	6,4	4,0	7,8

¹Datos de Peng et al. (2014). ²Elaborado a partir de las revisiones de Heuzé et al. (2017) y Paula et al. (2019). ³Datos de Salas et al. (2017).

La semilla y la torta de extracción de camelina contienen una variedad de sustancias antinutricionales que incluyen glucosinolatos, inhibidores de tripsina, sinapina, ácido erúxico, ácido fítico y taninos condensados (Budin et al., 1995; Matthäus, 1997; Russo y Reggiani, 2012; Woyengo et al., 2018; Zubr, 2003a) (**Tabla 5**). Cuantitativamente y en comparación con otras semillas oleaginosas y sus subproductos, los glucosinolatos y, en menor medida, los inhibidores de tripsina son los factores antinutricionales más importantes en la camelina (Woyengo et al., 2017).

Los glucosinolatos son amargos y astringentes y reducen la palatabilidad y el consumo de alimentos. Hasta la fecha se han identificado más de 140 glucosinolatos diferentes. Por hidrólisis de enzimas de las propias semillas o digestivas, liberan nitrilos, epitionitrilos, tiocianatos, isotiocianatos y oxazolidinetionas siendo las cantidades producidas de cada uno dependientes del tipo de glucosinolato y las condiciones de la hidrólisis (EFSA, 2008; Vargas-Rincón et al., 2013). La toxicidad de los glucosinolatos se asocia con la formación de nitrilos, tiocianatos y oxazolidinetionas. Los nitrilos afectan a las funciones hepática y renal, los tiocianatos reducen la utilización del yodo y las oxazolidinetionas causan cambios morfológicos y funcionales del tiroides (Tripathi y Mishra, 2007; EFSA, 2008). El contenido de glucosinolatos de la semilla de camelina determinado en 10 variedades cultivadas en diferentes regiones osciló entre 13,2 y 36,2 $\mu\text{mol/g}$, con un valor medio de 24 $\mu\text{mol/g}$, y el 65% del total correspondió a la glucocamelinina (10-metil-sulfonil-decil-glucosinolato) con cantidades menores de glucoarabina (9-metil-sulfonil-nonil-glucosinolato) y 11-metil-sulfonil-undecil-glucosinolato, sin efecto significativo de la variedad o la zona de cultivo (Schuster y Friedt, 1998). Asimismo, Almeida et al. (2013) encontraron valores de 28 y 32 $\mu\text{mol/g}$ en dos variedades de semilla de camelina, representando la glucocamelinina el 60% de los glucósidos totales, mientras que Košir et al. (2013) hallaron valores de entre 16,9 y 29,8 $\mu\text{mol/g}$ en siete variedades, con un 62% de glucocamelinina sobre el total. Los contenidos de glucosinolatos de la semilla de camelina son superiores a los de la

Revisión bibliográfica

semilla de colza (*Brassica napus*), con valores de 24 $\mu\text{mol/g}$ vs. 15 $\mu\text{mol/g}$, respectivamente (Matthäus, 1997). En la harina elaborada con semilla desgrasada, los valores encontrados por Colombini et al. (2014) oscilaron entre 19,9 y 24,5 $\mu\text{mol/g}$ en 10 variedades, Russo y Reggiani (2012) hallaron valores comprendidos entre 15,2 y 24,6 $\mu\text{mol/g}$ en 13 variedades, y Russo y Reggiani (2017) reportaron valores de entre 19,7 y 40,3 $\mu\text{mol/g}$ en 47 variedades, siendo los valores medios 23,1, 18,5 y 30,3 $\mu\text{mol/g}$, respectivamente. Los contenidos de glucosinolatos reportados en la torta de camelina oscilan entre 14,5 y 44,9 $\mu\text{mol/g}$ (Almeida et al., 2013; Aziza et al., 2010; Bohme et al., 1997; Matthäus y Zubr, 2000; Kahindi et al., 2014; Kim et al., 2017; Pekel et al., 2009; Pekel et al., 2015; Ryhanen et al., 2007; Smit y Beltranena, 2017; Thacker y Widyaratne, 2012), superando a los encontrados en la harina de colza de las variedades doble cero, que no llegan a los 10 $\mu\text{mol/g}$ (Adewole et al., 2016; Mailer et al., 2008; Mejicanos et al., 2016). El nivel de tolerancia de los rumiantes a los glucosinolatos presentes en la ración es superior al de los cerdos, pero inferior al de los conejos y aves (1,5-4,2, 0,8, 7,0 y 5,4 $\mu\text{mol/g}$, respectivamente) (Tripathi y Mishra, 2007). Cabe señalar que, debido a su estructura química, el efecto adverso de los glucosinolatos de la camelina sobre el metabolismo del yodo y el tiroides se considera inferior al de los glucosinolatos de la colza en los que predomina la proigoitrina y la epigoitrina (Matthäus y Zubr, 2000; EFSA, 2008). En la Unión Europea, el contenido máximo permitido de glucosinolatos en la semilla de camelina y sus subproductos para Alimentación Animal es de 30 $\mu\text{mol/g}$ (UE, 2013).

Los inhibidores de tripsina son péptidos que forman complejos inactivos estables con la tripsina y la quimotripsina en el tubo digestivo, lo que reduce la digestibilidad de la proteína y la absorción de aminoácidos, a la par que incrementa la actividad pancreática con el consiguiente aumento de las pérdidas fecales de proteína endógena debido a la sobreproducción de enzimas digestivas (Erdaw y Beyene, 2018; Merchen et al., 1997; Jezierny et al., 2010). No obstante, el efecto negativo en los rumiantes

parece ser únicamente importante cuando la ración es deficiente en aminoácidos azufrados (Dixon y Hosking, 1992). La actividad inhibidora de tripsina encontrada por Budin et al. (1995) en 13 variedades de semilla de camelina estuvo comprendida entre 11,8 y 26,6 unidades/mg, con un valor medio de 18,7 unidades/mg, mientras que Almeida et al. (2013) hallaron valores de 10,8 y 13,4 en dos variedades distintas. En la torta de camelina se han hallado valores de 5,8 a 22,1 unidades/mg (Almeida et al., 2013; Lee et al., 2017; Smit y Beltranena, 2017; Woyengo et al., 2018), siendo inferior a la observada en la torta de soja extraída en frío (>50 unidades/mg), pero superior por término medio a los valores encontrados en la harina de soja tostada (<14 unidades/mg) (Woyengo et al., 2017).

Tabla 5. Sustancias antinutritivas en la semilla y subproductos de camelina.

Sustancia	Valores encontrados en la bibliografía media (mínimo-máximo)
Glucosinolatos, $\mu\text{mol/g}$	Semilla: 25,2 (13,2-36,2) Semilla desgrasada: 24,0 (15,2-40,3) Torta: 29,7 (14,5-44,9)
Factores antitripsicos, UIT/mg	Semilla: 15,4 (11,8-26,6) Torta: 19,0 (5,8-22,1)
Sinapina, g/kg	Semilla desgrasada: 2,6 (1,2-4,3) Torta: 3,4 (1,7-4,2)
Ácido erúcico, % ácidos grasos totales	2,0 (0,04-4,0)
Ácido fítico, g/kg	Semilla desgrasada: 26,3 (21,0-31,6) Torta: 23,0 (18,0-28,0)
Taninos condensados, g/kg	Semilla desgrasada: 2,6 (1,6-2,9) Torta: 1,8 (1,0-2,4)

UIT: unidades inhibidoras de tripsina. Elaborado a partir de las referencias citadas en el texto.

Revisión bibliográfica

La sinapina es un éster de colina con ácido sinápico que reduce el consumo de alimento debido a su sabor amargo (Vermorel et al., 1987), aunque el efecto es menor que el de los glucosinolatos (Lee et al., 1984; Stedman y Hill, 1987). El contenido de sinapina en la harina de semilla de camelina desgrasada de una diversidad de variedades oscila entre 1,2 y 4,7 g/kg (Colombini et al., 2014; Russo y Reggiani, 2012; Russo y Reggiani, 2017), con un valor medio de 2,5 g/kg, mientras que en las tortas de 10 variedades de camelina se han encontrado concentraciones de 1,7 a 4,2 g/kg (Matthäus y Zubr, 2000). Estos valores son inferiores a los observados en la semilla y la harina de colza, donde el contenido de sinapina es de 6,9 g/kg (Matthäus, 1997) y 7,5 a 15,0 g/kg (Brand et al., 2007; Mailer et al., 2008), respectivamente.

El ácido erúxico (C22:1 cis-13) es un ácido graso cuyo consumo se relaciona con lipidosis y necrosis del miocardio (EFSA, 2016; Green e Innis, 2000; Kramer et al., 1990; Parke y Parke, 1999). Los contenidos hallados en la grasa de 30 variedades de camelina oscilaron entre 2,6 y 4,0% de los ácidos grasos totales (Vollmann et al., 2007), mientras que Zubr (2003a) encontró un valor medio del 2,8% en tres variedades. Estos niveles son superiores a los de la grasa de colza doble cero, (<0,1%), pero muy inferiores al de la grasa de la colza normal (42%) (Hristov et al., 2011). Hay que destacar que más recientemente se han reportado valores inferiores al 0,1% (Salas et al., 2019), en línea con los de la grasa de la colza doble cero. No se ha podido establecer un límite máximo de toxicidad para el consumo de ácido erúxico en rumiantes, pero la escasa información disponible indica que no se observan efectos adversos sobre la producción de leche con un consumo 170 mg/kg peso vivo/día, un valor muy superior al de 7,5 mg/kg peso vivo/día que se ha estimado como riesgo de exposición en condiciones normales (EFSA, 2016).

El ácido fítico (mioinositol 6-fosfato) es un compuesto orgánico abundante en las semillas de cereales, leguminosas y oleaginosas y sus subproductos. Además de

contener fósforo no utilizable, el ácido fítico tiene otros efectos antinutricionales que empeoran el aprovechamiento de la ración. Al comportarse como un anión reactivo en el tubo digestivo, en forma de fitato, puede formar sales insolubles con los cationes divalentes, como el calcio, magnesio, zinc, hierro, manganeso, etc., y complejos con las proteínas, incluyendo las asociadas al almidón, lo que reduce la digestibilidad de dichos nutrientes. Además, aumenta la pérdida de minerales (mayor secreción de ácido clorhídrico y bicarbonato sódico en duodeno) y aminoácidos endógenos (mayor producción de mucina, pepsina y enzimas pancreáticas), así como reduce la actividad de las enzimas digestivas formando complejos insolubles con ellas (Woyengo y Nyachoti, 2013). Estos efectos antinutricionales del ácido fítico son relevantes en animales monogástricos, pero no en rumiantes debido a la actividad fitasa de la flora microbiana ruminal (Yanke et al., 1998). La cantidad de ácido fítico en la semilla desgrasada de camelina oscila entre 21,0 y 31,6 g/kg (Colombini et al., 2014; Russo y Reggiani, 2012), en línea con los encontrados en la semilla de colza (Colombini et al., 2014), mientras que en la torta de camelina se han encontrado valores de entre 18,0 y 28 g/kg que, de media, son mayores que los de la torta de colza (Matthäus, 1997; Matthäus y Zubr, 2000).

Los taninos condensados o proantocianidinas son polímeros de flavanol. Sus múltiples grupos hidroxifenólicos forman complejos con proteínas, iones metálicos y polisacáridos, impidiendo su utilización digestiva (Schofield et al., 2001). En los rumiantes, cantidades bajas de taninos condensados en la ración (20-45 g/kg materia seca) favorecen la entrada de proteína dietaria no degradada al intestino delgado, lo que puede ser ventajoso cuando aquella es de elevado valor biológico, pero a concentraciones elevadas (>55 g/kg materia seca) reducen la digestibilidad y disminuyen el consumo de alimentos por su efecto astringente (Min et al., 2003; Naumann et al., 2017). El contenido de taninos condensados reportado en la semilla desgrasada y la torta de camelina oscila entre 1,6 y 2,9 g/kg según la variedad

(Colombini et al., 2014; Russo y Reggiani, 2012) y 2,0 y 1,0-2,4 g/kg (Matthäus, 1997; Matthäus y Zubr, 2000), respectivamente, frente a los contenidos en la semilla y harina de colza de 2,2 y 3,8, respectivamente (Colombini et al., 2014; Matthäus, 1997; Matthäus y Zubr, 2000). Estos contenidos están muy por debajo de las cantidades consideradas perjudiciales en la ración de los rumiantes (Min et al., 2003; Naumann et al., 2017).

Uso de la torta de camelina en Alimentación Animal

La inclusión de torta de camelina en la ración de los cerdos ha sido muy estudiada en años recientes. La digestibilidad de la proteína bruta y de los aminoácidos se ha reportado similar a la de la harina de colza (Almeida et al., 2013) o inferior a la de la harina de colza y la harina de girasol (Cotten et al., 2016). Su inclusión hasta el 20% en la ración para reemplazar parte del maíz y la harina de soja resulta en menor digestibilidad de dichos nutrientes (Kahindi et al., 2014). En lechones, se ha observado que el reemplazo de la harina de soja por torta de camelina hasta un contenido del 18% en la ración disminuye linealmente la digestibilidad de la materia orgánica, el consumo de alimentos y la velocidad de crecimiento y aumenta el contenido de ácidos grasos omega-3 en la grasa, sin efectos sobre la digestibilidad de la proteína bruta o la salud de los animales (Smit y Beltranena, 2017). Valores de hasta el 30% en la ración, no afectan a su valor energético calculado en cerdos en crecimiento (Kim et al., 2017).

En avicultura también se han realizado numerosos trabajos sobre la inclusión de torta de camelina en la ración. En pollos, contenidos desde el 6% reducen la digestibilidad de los nutrientes (Thacker y Widyaratne, 2012) aunque un nivel del 24% no muestra efectos tóxicos (Oryshchak et al., 2020). La incorporación del 10% ha mostrado deprimir el consumo de alimento y empeorar el índice de conversión en algunos trabajos (Pekel et al., 2009; Pekel et al., 2015; Thacker y Widyaratne, 2012), pero no

en otros (Aziza et al., 2010; Orczewska-Dudek y Pietras, 2019), diferencias que podrían explicarse por el contenido de glucosinolatos de las tortas ensayadas. Por otro lado, las raciones con torta de camelina aumentan el contenido de omega-3 de la carne (Aziza et al., 2010; Nain et al., 2015; Orczewska-Dudek y Pietras, 2019; Ryhänen et al., 2007). En gallinas, un 10% de torta de camelina en la ración para reemplazar parte del maíz y la harina de soja ha mostrado empeorar la digestibilidad de la proteína bruta, no afectar o mejorar el porcentaje de puesta y aumentar el contenido de ácidos grasos omega-3 de los huevos (Aziza et al., 2013; Kakani et al., 2012). En el mismo sentido, Cherian et al. (2009) encontraron que un nivel de torta de camelina superior al 10% reduce el porcentaje de puesta y el peso de la yema, mientras que el 5% de incorporación en la ración no tiene efectos negativos. En pavos, Frame et al. (2007) observaron que un nivel de inclusión en la ración del 5% no tenía efectos negativos sobre la velocidad de crecimiento y el consumo de alimentos.

El uso de la torta de camelina en la alimentación de rumiantes se ha investigado en la doble perspectiva de materia prima proteica alternativa y como fuente de omega-3 para mejorar el perfil de ácidos grasos de la carne y la leche. Colombini et al. (2014), a partir de los resultados de composición química y degradabilidad *in vitro*, y Moloney et al. (1998), a partir de los resultados de digestibilidad *in vivo*, concluyeron que la torta de camelina es una materia prima interesante para reemplazar a las materias primas proteicas tradicionales. En este sentido, Lawrence y Anderson (2018) observaron que la degradabilidad ruminal *in situ* y la digestibilidad intestinal *in vitro* son menores que las de las harinas de soja y colza, pero que la proteína metabolizable calculada es similar a la de la harina de soja y mayor que la de la harina de colza. Sin embargo, Salas et al. (2019) encontraron que la torta y la harina de camelina tienen coeficientes de digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica menores que los de la harina de soja y similares a los de la harina de colza, mientras que la degradabilidad ruminal *in situ* de la proteína bruta es equiparable a la de la harina de colza y superior a la de la harina

Revisión bibliográfica

de soja. Claramente, la información sobre la digestibilidad *in vivo* y la degradabilidad *in situ* de los subproductos de camelina es muy escasa (Lawrence y Anderson, 2018; Moloney et al., 1998; Salas et al., 2019).

En raciones para novillas lecheras y de carne, los resultados productivos observados con un porcentaje de inclusión de torta de camelina en la ración de alrededor del 10% no difieren de los observados con las fuentes tradicionales de proteína (Lawrence et al., 2016; Moriel et al., 2011). Más aún, el consumo de materia seca y la digestibilidad de la ración no se vieron afectados en terneros por un nivel de inclusión de hasta el 9% de torta de camelina en el concentrado (Salas et al., 2020). En corderos, se ha observado que reemplazar hasta la mitad de la harina de soja del concentrado por harina de camelina (hasta el 10% del total de ingredientes) no tiene efectos adversos sobre los resultados productivos, las características de la canal y la carne, y el perfil de ácidos grasos de la grasa intramuscular (Avilés et al., 2019; Gómez-Cortés et al., 2019). Sin embargo, en terneros se ha observado una disminución del consumo de materia seca y la ganancia de peso cuando la torta de camelina ha reemplazado completamente a la harina de soja y parte del cereal hasta representar el 30% del total de ingredientes (Capelloza et al., 2012), así como menor preferencia de un concentrado con el 14% de torta de camelina frente a un concentrado con una cantidad similar de harina de colza (Salas et al., 2020).

Respecto a la modificación del contenido de ácidos grasos omega-3 de los productos de los rumiantes, el consumo de un concentrado con 20% de torta de camelina no tuvo ningún efecto sobre la grasa láctea en vacas en comparación con un concentrado con 20% de harina de colza (Halmemies-Beauchet-Filleau et al., 2011). No obstante, Szumacher-Strabel et al. (2011) y Steppa et al. (2017) observaron un incremento del contenido de ácidos grasos omega-3 en la grasa láctea de ovejas que consumieron concentrados con 10 y 20% de torta de camelina. Asimismo, Cieslak et al. (2013)

reportaron un incremento del contenido de ácidos grasos omega-3 en la grasa intramuscular de corderos que consumieron un concentrado con los mismos niveles de torta de camelina que los usados por Szumacher-Strabel et al. (2011) y Steppa et al. (2017).

En años recientes se ha investigado el potencial de la grasa de camelina para reducir la producción ruminal de metano, habiéndose obtenidos resultados favorables tanto *in vitro* como *in vivo* (Bayat et al., 2015; Wang et al., 2017).

Finalmente, cabe señalar que el nivel máximo permitido en Estados Unidos de inclusión de torta de camelina en raciones de aves y bovinos de carne es del 10% y no más del 2% en raciones de porcino, límites establecidos en base a su contenido de glucosinolatos (Smit y Beltranena, 2017).

Digestibilidad, metabolismo ruminal y retención de nitrógeno.

La digestión es el proceso de degradación de las macromoléculas de los alimentos hasta compuesto simples que pueden absorberse en el tubo digestivo. En los rumiantes, la digestión es el resultado neto de una secuencia de procesos que ocurren en diferentes tramos del tubo digestivo. Esta secuencia incluye la fermentación de los componentes del alimento por los microbios en el retículo-rumen, la hidrólisis por las enzimas digestivas del animal en el abomaso y el intestino delgado, y una segunda fermentación en el ciego y el intestino grueso. El lugar de digestión afecta a la naturaleza de los productos finales y el grado de pérdida de nutrientes durante la digestión (Merchen et al., 1997). Adicionalmente, la digestibilidad total aparente de los distintos componentes de la ración se ve afectada por su propia cantidad en aquella y las interacciones con otros componentes. Así, la excreción fecal de proteína bruta se aumenta con el incremento de los niveles de proteína, fibra y grasa brutas, la excreción fecal de grasa bruta aumenta con el incremento de los porcentajes de grasa y fibra

Revisión bibliográfica

brutas, y la excreción fecal de fibra bruta aumenta con los niveles de fibra, proteína y grasa brutas (Owens et al., 2010).

La fermentación en el retículo-rumen resulta en la digestión de alrededor del 45% de la materia orgánica de la ración, ya que la casi totalidad del almidón (más del 70%), una parte muy variable de la fibra neutro detergente potencialmente digestible (56-81%) y la mayor parte de los compuestos nitrogenados de los alimentos consumidos (60-90%) son degradados a este nivel (Archimède et al., 1997; Armstrong y Beever, 1969; Harmon et al., 2004; Huhtanen et al., 2006; Moharrery et al., 2014; Van der Walt y Meyer, 1988). La digestibilidad de la fibra neutro detergente se ve fuertemente afectada por el contenido de lignina, las condiciones ruminales (pH, efectos asociativos de la ración) y la velocidad de tránsito, que a su vez depende del nivel de alimentación y el tamaño de partícula (Huhtanen et al., 2006; Jung y Allen, 1995; Traxler et al., 1998). La lignina tiene un efecto negativo de superficie sobre la digestibilidad de la celulosa y la hemicelulosa (Weiss et al., 1992). Un bajo pH por una elevada disponibilidad de almidón para los microorganismos ruminales (que resulta en una elevada producción de ácido láctico) unido a una elevada velocidad de tránsito por un alto nivel de alimentación y bajo tamaño de partícula reducen la fermentación de la fibra potencialmente digestible por menor actividad de las bacterias celulolíticas y menor tiempo de acceso de estas al sustrato (Huhtanen et al., 2006). La digestión ruminal de los lípidos de la ración supone la hidrólisis de los triglicéridos y los galactolípidos, la rápida fermentación del glicerol y la galactosa liberados hasta ácidos grasos volátiles, y la biohidrogenación de los ácidos grasos insaturados libres (Martínez Marín et al., 2010).

La fermentación en el ciego e intestino grueso es similar a la que ocurre en el retículo-rumen, pero su contribución a la digestibilidad total de la materia orgánica de la ración es muy inferior, con valores comprendidos entre 0 y 22%, con un valor medio del 10%

(Gressley et al., 2011; Sauvant y Nozière, 2016), ya que la disponibilidad de almidón no digerido en los tramos anteriores es muy baja y la actividad celulolítica es inferior a la del rumen (Harmon et al., 2004; Nozière et al., 2010).

Los principales productos de la degradación microbiana de los alimentos son ácidos grasos volátiles (acético, propiónico y butírico, sobre todo) y proteína microbiana (France y Dijkstra, 2005; Nolan y Dobos, 2005). Los ácidos grasos volátiles y la proteína microbiana de origen ruminal son las fuentes mayoritarias de energía y aminoácidos, respectivamente, representando más del 50% de la energía y los aminoácidos disponibles para el metabolismo bajo condiciones normales de alimentación, mientras que la contribución de los ácidos grasos volátiles resultantes de la fermentación intestinal es muy inferior y la proteína microbiana sintetizada a este nivel se pierde con las heces (Bergman, 1990; Harmon y Swanson, 2020; Hoover, 1978; Van der Walt y Meyer, 1988).

La fermentación de los carbohidratos deja como residuos dióxido de carbono e hidrógeno que sirven como sustrato para la síntesis de metano por las arqueas metanogénicas, pero existen diferencias según las vías de fermentación, de forma que la producción de los ácidos acético y butírico resultan en la producción neta de metano y la producción de ácido propiónico causa una reducción neta (Moss et al., 2000). Cabe destacar, que la ganadería es responsable del 14,5% de las emisiones antropogénicas totales de gases de efecto invernadero (80% atribuible a los rumiantes), 44% en forma de metano y el resto como óxido nitroso y dióxido de carbono a partes iguales. El metano entérico representa entre el 45 y 65% de las emisiones de los rumiantes, siendo más del 80% de origen ruminal (Gerber et al., 2013; Murray et al., 1976). Durante la fermentación de la proteína, la mayor parte se convierte en amoníaco, cuyo uso eficiente como fuente de nitrógeno para la síntesis de proteína microbiana requiere

Revisión bibliográfica

la disponibilidad de suficiente energía para los microorganismos ruminales (Bach et al., 2005; Calsamiglia et al., 2010).

La composición de la ración tiene un profundo efecto sobre las proporciones de las poblaciones microbianas y el ambiente del rumen, lo que afecta a la cantidad y proporciones de los productos de la fermentación ruminal. El aumento del porcentaje de fibra de la ración aumenta la diversidad de especies bacterianas y fúngicas en el rumen, así como la concentración de microorganismos con actividad celulolítica, como algunas especies bacterianas, protozoos y hongos, y arqueas metanogénicas, pero si las raciones son pobres en proteína, dichas poblaciones microbianas se afectan negativamente (Belanche et al., 2012). El aumento de la actividad celulolítica al aumentar la fibra de la ración se acompaña de un pH ruminal más alto, mayor concentración de amoníaco, mayor proporción molar de ácido acético y una relación acético/propiónico más alta (Belanche et al., 2012, Cantalapiedra-Hijar et al., 2009; Fimbres et al., 2002; Granja-Salcedo et al., 2016), así como de mayor producción de metano (Doreau et al., 2011; Olihoek et al., 2018).

En el abomaso y el intestino delgado, el proceso digestivo es igual al de los animales no rumiantes. Las enzimas digestivas hidrolizan el almidón y la proteína escapados de la fermentación ruminal, la proteína de las bacterias arrastradas con la digesta, y los lípidos (principalmente ácidos grasos libres con pequeñas cantidades de fosfolípidos microbianos, y triglicéridos y galactolípidos no hidrolizados en el rumen) hasta glucosa, aminoácidos y ácidos grasos de cadena media y larga que son absorbidos a este nivel, no existiendo enzimas con capacidad fibrolítica (Sniffen et al., 1992). La digestibilidad aparente del almidón en el intestino delgado oscila entre el 45 y 85% (Huntington et al., 2006), con un valor medio de alrededor del 60% en bovinos (Harmon et al., 2004; Moharrery et al., 2014; Owens et al., 1986) y del 70% en ovinos (Xu et al., 2006). La digestibilidad de la proteína dietaria se relaciona directamente con la fracción ligada a

fibra ácido detergente (Weiss et al., 1992), mientras que la digestibilidad de la proteína microbiana verdadera (aproximadamente 80% de la proteína microbiana total) es prácticamente constante y tiene un valor de alrededor del 80% (Beever y Cottrill, 1994). La digestibilidad intestinal de la grasa es muy variable, oscilando entre el 60 y 90%, con pocas diferencias entre ácidos grasos individuales (Doreau y Ferlay, 1994; Lock et al., 2006).

La eficiencia de utilización de la proteína bruta de la ración puede medirse en términos de nitrógeno total retenido (nitrógeno consumido menos nitrógeno excretado en las heces y la orina). Una mayor retención de nitrógeno indicará un uso más eficiente de la proteína bruta para la síntesis de proteína microbiana ruminal (menor pérdida de amoníaco a través del epitelio ruminal) y/o un uso más eficiente de los aminoácidos absorbidos para las funciones corporales distintas del mantenimiento del organismo (Calsamiglia et al., 2010). Cuando se incrementa el consumo de proteína, la excreción fecal de proteína aumenta linealmente y lo mismo ocurre con la excreción urinaria, pero de forma más pronunciada (Dijkstra et al., 2013). El incremento de la pérdida fecal de proteína al aumentar la proteína de la ración se relaciona con un acrecentamiento de la proteína indigestible consumida (Weiss et al., 1992; 2009). El aumento del nitrógeno urinario al incrementarse el consumo de proteína se relaciona con una mayor producción hepática de urea, bien a partir del amoníaco en exceso absorbido desde el rumen bien debido a un elevado catabolismo hepático de aminoácidos, y un menor reciclaje de urea desde el hígado al rumen. Por el contrario, una mayor disponibilidad de energía para el crecimiento microbiano ruminal y/o para la síntesis proteica corporal resultan en menor pérdida urinaria de nitrógeno (Angelidis et al., 2019; Kebreab et al., 2010; Weiss et al., 2009).

Relación de la alimentación con la producción y calidad de la carne de vacuno

Hoy en día es bien sabido que la alimentación durante el crecimiento y la finalización afecta los resultados productivos, las características de la canal y la calidad de la carne de vacuno (Mwangi et al., 2019). La relación se explica por los productos finales de la digestión utilizados en el metabolismo y los cambios hormonales en respuesta a los mismos (Hocquette et al., 2001; Pethick et al., 2004) (**Figura 4**).

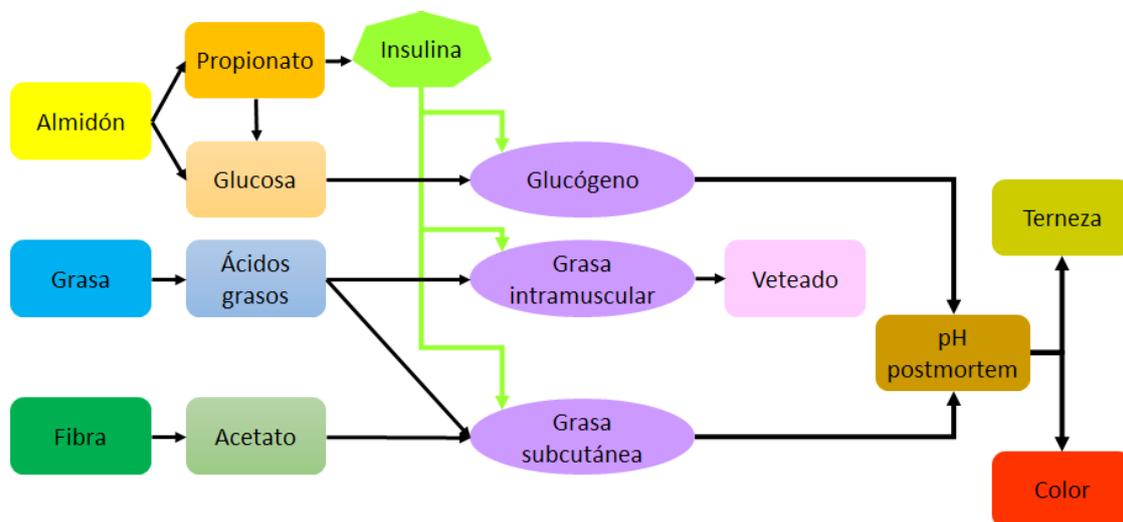


Figura 4. Relación entre la ración y las características de la canal y la calidad de la carne de vacuno. Elaborado a partir de Hocquette et al. (2001), Muir et al. (1998) y Pethick et al. (2004).

En bovinos de engorde, los indicadores de los resultados productivos son, como en otras especies domésticas criadas para la obtención de carne, la velocidad de crecimiento, el consumo de alimentos y la relación entre ambos o índice de conversión, a nivel de granja, y el rendimiento y el grado de conformación y engrasamiento de la canal, desde el punto de vista de la valoración comercial (Castro Bulle et al., 2007). Al elevar el nivel de alimentación, esto es, al suministrar raciones más ricas en energía, aumenta la velocidad de crecimiento, acortándose el tiempo para alcanzar el peso de

sacrificio y la ocupación de las instalaciones, y mejora el índice de conversión (Koknaraglu et al., 2005), lo que a su vez repercute positivamente sobre el rendimiento, la conformación y la cobertura grasa de la canal (Soulat et al., 2019).

En los sistemas intensivos de producción, la forma más común de elevar el nivel de alimentación durante el cebo es suministrar raciones muy ricas en cereales, limitando el consumo de forraje al mínimo imprescindible para prevenir trastornos digestivos y no encarecer el coste de la ración por unidad de energía (Turgeon et al., 2010; Weiss et al., 2017). Se ha observado que incrementar el contenido de fibra neutro detergente en la ración desde el 7 al 35% aumenta linealmente el consumo de materia seca y energía neta (Galyean y Hubbert, 2014). Dicho incremento no tendría que ser necesariamente a base de forraje, ya que ello podría empeorar los resultados productivos (Swanson et al., 2017), sino que podrían emplearse diferentes subproductos agroindustriales disponibles para sustituir a los cereales, manteniendo el consumo de forraje dentro de los límites más ventajosos desde todos los puntos de vista y aprovechar la capacidad de los rumiantes para aprovechar dichos recursos alimenticios (Chibisa et al., 2020; Gramkow et al., 2016). Dado que es improbable que un único subproducto tenga el perfil nutritivo ideal, lo más apropiado sería suministrar una combinación de ellos para conseguir los mejores resultados (Górka et al., 2013; Zenobi et al., 2014).

Generalmente, las raciones muy ricas en concentrados en las que los cereales son reemplazados por subproductos tienen menor contenido energético por la menor digestibilidad de los segundos, lo que puede comprometer los resultados productivos en función del nivel de sustitución (Bittner et al., 2016; Ludden et al., 1995), un efecto que no puede superarse aumentando el contenido graso de la ración (Joy et al., 2017). Sin embargo, la sustitución de cereales por subproductos también puede ser favorable para la productividad en el caso de raciones con una elevada proporción de forraje,

probablemente debido a efectos asociativos ruminales positivos (Restle et al., 2004). Por otra parte, el consumo de raciones muy ricas en fibra incrementa el metabolismo visceral debido al trabajo de digestión y absorción de los nutrientes (Reynolds et al., 1991), a la par que aumenta la proporción molar de ácido acético en detrimento del ácido propiónico en la mezcla de ácidos grasos volátiles producidos en la fermentación ruminal, lo que a su vez reduce el estímulo para la producción de insulina (Van Eenaele et al., 1990). Dichos cambios determinan la eficiencia con que la ración es usada para el crecimiento y engorde (Hales et al., 2014) y pueden afectar a la distribución de los depósitos de grasa en la canal (Pethick et al., 2004). En este sentido, se ha observado que las raciones con mayor proporción de almidón resultan en una mayor sensibilidad del tejido intramuscular a la insulina, aumentando la captación de glucosa, cuya disponibilidad también se ve incrementada con dichas raciones, que es el sustrato preferente para síntesis de grasa en dicho tejido, sin afectar la utilización de ácido acético en la síntesis de grasa subcutánea, para cuyo fin es el sustrato preferente (Rhoades et al., 2007; Choi et al., 2013).

El plano de alimentación tiene también múltiples efectos directos e indirectos, a través de las características de la canal, sobre la calidad de la carne (Muir et al., 1998) (**Figura 4**). La calidad de la carne de vacuno es establecida por los consumidores en el momento de la compra y al ser consumida, expresándose en términos de frescura, ternera, jugosidad y palatabilidad (Glitsch, 2000). La percepción sensorial del consumidor puede relacionarse en su mayor parte con medidas instrumentales de color (= frescura), pérdidas por goteo (= frescura), resistencia al corte (= ternera) y pérdidas por cocinado (= jugosidad) (Destefanis et al., 2008; Holman et al., 2017; Khlijj et al., 2010; O'Quinn et al., 2017; Warner, 2017). El color de la carne, las pérdidas por goteo y el grado de infiltración grasa y su color influyen en la decisión de compra. Los compradores discriminan negativamente la carne cuyo color no tiene la intensidad roja y la luminosidad esperadas, muestra exudado o tiene muy baja infiltración grasa y/o el

color de esta es amarillento, ya que un color rojo brillante, sin exudado, se asocia con un mayor grado de frescura, mientras que suficiente infiltración grasa de color blanco anticipa una mayor palatabilidad. En el momento del consumo, la carne más apreciada es aquella que, para un determinado grado de cocinado, ofrece menor resistencia a la masticación y conserva mayor cantidad de agua (Troy y Kerry, 2010).

En conjunto, los dos atributos más apreciados por los consumidores son el color de la carne en el momento de la compra y la terniza cuando es consumida (Henchion et al., 2017). Ambos elementos dependen de los procesos bioquímicos que ocurren durante la transformación del músculo en carne. Estos procesos incluyen, el agotamiento de la energía disponible en forma de glucógeno, el cambio del catabolismo aerobio a anaerobio con la consiguiente producción de ácido láctico que reduce el pH desde valores de neutralidad hasta 5,4-5,8, aumento del potencial iónico por cese de la función de las bombas iónicas ATP-dependientes, e incapacidad de las células para mantener unas condiciones reductoras (Lonergan et al., 2010). La evolución de los procesos bioquímicos mencionados está estrechamente relacionada con la alimentación durante el engorde (Muir et al., 1998) (**Figura 4**). Por un lado, el color de la carne depende del estado redox en que se encuentra la mioglobina: deoximioglobina, oximioglobina, carboximioglobina o metamioglobina (**Figura 5**). La oximioglobina y la carboximioglobina proporcionan un color rojo cereza brillante, la deoximioglobina es de color rojo púrpura y la metamioglobina es de color marrón. La presencia de oxígeno o dióxido de carbono favorece la formación de oximioglobina y carboximioglobina, respectivamente, mientras que la oxidación de la deoximioglobina, oximioglobina y carboximioglobina resulta en la formación de metamioglobina (Suman y Joseph, 2013). La reducción postmortem del pH en las células musculares favorece la oxigenación de la mioglobina a oximioglobina porque reduce la actividad mitocondrial, dejando más oxígeno celular libre (Ramanathan y Mancini, 2018). Por otro lado, la terniza depende del grado de proteólisis postmortem, que también es un proceso dependiente del pH

celular, habiéndose observado que un descenso moderadamente acelerado del pH favorece la actividad de las proteasas calpaínas, que son las principales responsables de la proteólisis muscular postmortem (Lonergan et al., 2010). Adicionalmente, el enfriamiento progresivo de la canal, en un ritmo ajustado al descenso del pH, prolonga la actividad proteolítica (Bhat et al., 2018; Kim et al., 2014). Debe tenerse en cuenta que, a igual temperatura de conservación de la canal, la velocidad de enfriamiento es más lenta en las canales mejor conformadas y con suficiente cobertura grasa (Cadavez et al., 2019). De lo anterior se desprende que las canales de animales con un nivel de alimentación más alto durante el cebo proporcionarán carne de mejor color y mayor ternura, ya que el nivel de glucógeno intramuscular al sacrificio (Immonen et al., 2000; McVeigh y Tarrant, 1982) y la conformación y cobertura grasa de la canal (Soulat et al., 2019) son mayores.

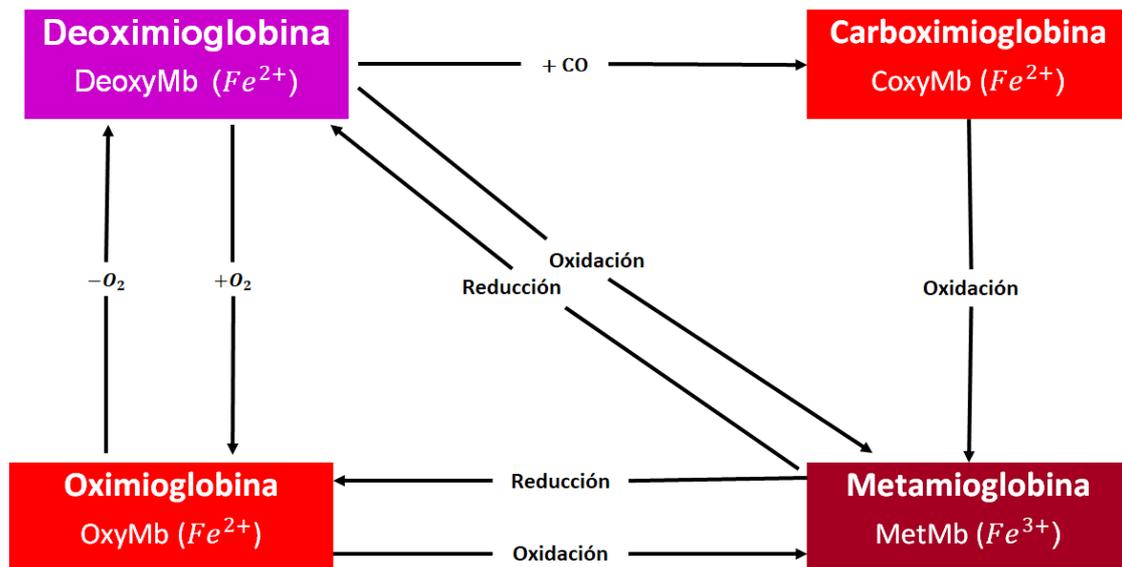


Figura 5. Estados redox de la mioglobina.

Además de la alimentación, el tiempo de maduración y el tiempo de exposición pueden afectar a la calidad instrumental de la carne. El tiempo de maduración hace referencia al tiempo de conservación de la carne en refrigeración hasta su exposición para la

venta al público. El tiempo de exposición es el período transcurrido desde la exposición de la carne en las vitrinas refrigeradoras hasta su adquisición por los consumidores. Generalmente, al prolongar el tiempo de maduración se observa un empeoramiento del color, reducción de las pérdidas por goteo, menor resistencia al corte y aumento de las pérdidas por cocinado (Colle et al., 2015; Farouk et al., 2012; Purslow et al., 2016). El tiempo de exposición afecta negativamente al color de la carne (Callahan et al., 2019; Cooper et al., 2018), especialmente cuando el tiempo de maduración es prolongado (King et al., 2012; Lagersted et al., 2011; Mancini y Ramanathan, 2014). Adicionalmente, ambos tiempos pueden interactuar con la alimentación (Domenech-Pérez et al., 2017; Ribeiro et al., 2019; Sapp et al., 1999).

El efecto del sistema de alimentación (forrajes frente a concentrados o diferentes niveles de concentrado) sobre la producción de carne de vacuno en su sentido más amplio (resultados productivos, características de la canal y calidad instrumental de la carne) ha sido ampliamente estudiado en los últimos 20 años (Avilés et al., 2015; Bodas et al., 2014; Casasús et al., 2012; Cooke et al., 2004; French et al., 2001; Marino et al., 2006). Sin embargo, en la literatura se encuentran muy pocos trabajos de investigación que hayan reportado en detalle los efectos que la modificación de la composición de ingredientes del concentrado suministrado en condiciones intensivas de alimentación pueda tener sobre dicha producción, tanto cuantitativa como cualitativamente (Cuvelier et al., 2006, Li et al., 2014; Santos-Silva et al., 2020; Tayengwa et al., 2020). Los resultados reportados por estos autores son mayoritariamente coincidentes: ausencia de diferencias entre tratamientos en los resultados productivos (Cuvelier et al., 2006; Santos-Silva et al., 2020), las características de la canal (Cuvelier et al., 2006; Li et al., 2014; Santos-Silva et al., 2020) y la calidad de la carne (Li et al., 2014; Santos-Silva et al., 2020; Tayengwa et al., 2020). Sin embargo, también se encontraron diferencias en algunos parámetros de los resultados productivos (Li et al., 2014; Tayengwa et al., 2020), las características

Revisión bibliográfica

de la canal (Tayengwa et al., 2020) y la calidad de la carne (Cuvelier et al., 2006). Estas discrepancias podrían explicarse por las diferencias entre los niveles de almidón y fibra neutro detergente en los tratamientos experimentales ensayados en cada uno de ellos, como se ha mencionado en los párrafos anteriores. Hay que destacar que entre los trabajos mencionados, solamente Santos-Silva et al. (2020) investigaron el efecto del tiempo de maduración sobre la calidad instrumental de la carne, hallándose un marcado efecto sobre la misma, mientras que ninguno de ellos valoró el efecto del tiempo de exposición de la carne.

Conclusiones

A partir de la revisión bibliográfica realizada se puede concluir que los bovinos para carne producidos en España son animales jóvenes de crecimiento rápido cuya alimentación se basa tradicionalmente en piensos concentrados con elevado contenido de cereales y harina de soja, lo que supone uno de los costes más importantes del sistema de producción, que compromete la viabilidad de las ganaderías y se opone a los principios de la economía circular y la bioeconomía. El uso de subproductos agroindustriales para Alimentación Animal podría mejorar la sostenibilidad de las ganaderías de vacuno de cebo. Los subproductos del procesado de la semilla camelina han aparecido recientemente en el mercado español de materias primas para Alimentación Animal. Sin embargo, existen pocos datos sobre su composición química y valor nutritivo obtenidos en nuestro país que ayuden a establecer criterios de inclusión para su uso apropiado en la ración de los rumiantes. La composición de la ración tiene un profundo efecto sobre la digestibilidad, el metabolismo ruminal y la retención de nitrógeno, por lo que deben establecerse dichos valores para piensos concentrados ricos en subproductos agroindustriales con objeto de anticipar posibles efectos sobre la productividad. La composición de la ración puede afectar a los resultados productivos, las características de la canal y la calidad de la carne. Sin embargo, existen muy pocos trabajos publicados en los que se haya

estudiado el efecto de suministrar a los bovinos de engorde piensos basados en subproductos agroindustriales sobre dichos parámetros, considerando la posible interacción de la ración con los tiempos de maduración y exposición.

JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

Justificación y objetivos

En España, la mayoría de los bovinos de engorde son criados en condiciones de cebo intensivo con piensos concentrados basados en cereales y harina de soja, con cantidades muy inferiores de diversos subproductos, así como paja de cereales como fuente de volumen. Este sistema tiene un elevado coste de alimentación además de competir con la alimentación humana y de los animales productores de alimentos no rumiantes, y no aprovechar la capacidad digestiva de los rumiantes.

En este contexto, el uso de los subproductos de la semilla de camelina junto a una variedad de otros subproductos agroindustriales, es de indudable interés en el sector de la producción de carne de vacuno, ya que podría mejorar la viabilidad económica de las ganaderías a la par que contribuiría a la economía circular, facilitando el cambio del paradigma productivo actual en beneficio de uno más sostenible.

Para ello, es necesario establecer la caracterización química y el valor nutritivo de los subproductos de camelina, para luego estudiar el comportamiento digestivo y el valor nutritivo de un pienso rico en subproductos agroindustriales, alternativo a los piensos tradicionales, y finalmente comprobar los efectos de un pienso con dichas características sobre la producción y calidad de la carne en bovinos de engorde.

Por tanto, los objetivos abordados en los capítulos de la presente Tesis Doctoral son:

- **Capítulo 1.** Caracterizar química y nutricionalmente la semilla y los subproductos de Camelina sativa.
- **Capítulo 2.** Estudiar la digestibilidad y la degradabilidad ruminal de los subproductos de camelina, así como la digestibilidad, la retención de nitrógeno y el metabolismo ruminal de un pienso rico en subproductos agroindustriales.
- **Capítulo 3.** Establecer los efectos de un pienso rico en subproductos agroindustriales sobre los resultados productivos, las características de la canal y la calidad de la carne en bovinos de engorde.

CAPITULO I

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y NUTRICIONAL DE LA SEMILLA Y LOS SUBPRODUCTOS DE CAMELINA

Resumen

En el proceso de extracción del aceite de la semilla de camelina se obtienen como subproductos la torta, la harina y la cascarilla. La información publicada sobre la composición química de la semilla, la harina y, sobre todo, la cascarilla de camelina es bastante limitada. El objetivo del presente Capítulo fue contribuir al conocimiento de la composición química y nutricional de la semilla y los subproductos de camelina. En muestras de dos lotes de semilla, harina, torta y cascarilla de camelina se determinó la composición química básica y los contenidos de aminoácidos, minerales y glucosinolatos. Los resultados se compararon con los valores medios derivados de una extensa revisión de la bibliografía. Las mayores diferencias se encontraron en la torta de camelina que mostró menor contenido de grasa bruta, proteína bruta y aminoácidos. La grasa bruta de la semilla se situó en el rango inferior de trabajos previos. Se encontró que los contenidos de la mayoría de los aminoácidos de la torta de camelina pueden predecirse a partir de su contenido de proteína bruta. En general, la composición química estuvo en la línea de otras materias primas similares, situándose en una posición intermedia en los productos de soja y los de colza, girasol y lino. Las diferencias más destacables fueron el elevado contenido de leucina y ácido glutámico y el bajo grado de lignificación de la fibra neutro detergente en comparación con las semillas de colza y girasol y sus subproductos. Ninguno de los minerales analizados mostró un contenido relevante en comparación con otras materias primas similares, calculándose que el fósforo fítico podría representar el 64 y 80% del fósforo total en la semilla y la torta, respectivamente. Los contenidos de glucosinolatos fueron muy inferiores al promedio de trabajos previos. Los valores de energía neta para engorde de rumiantes calculados a partir de la composición química fueron próximos a los de los productos de la soja. En conclusión, los resultados obtenidos mejoran el conocimiento sobre la composición química y nutricional de la semilla y los subproductos de camelina y contribuyen a establecer su uso potencial en rumiantes.

Introducción

La camelina (*Camelina sativa*) es una planta anual de la familia *Brassicaceae* originaria del sudeste de Europa y el suroeste de Asia cuya recolección tiene más de 4000 años de antigüedad. El cultivo ha adquirido gran relevancia en los últimos años porque su semilla es rica en aceite que se destina a múltiples usos, mientras que, desde el punto de vista agronómico, tiene pocas limitaciones debido a su rusticidad, adaptabilidad y resistencia a las plagas (Berti et al., 2016). La extracción del aceite de la semilla de camelina deja como subproductos la cascarilla resultante de la limpieza previa a la extracción, la torta, cuando la extracción se hace por medios mecánicos y la harina, cuando la extracción se hace con solventes químicos (Carr, 1995).

Los subproductos de camelina son relativamente recientes en el mercado español de materias primas para Alimentación Animal (FEDNA, 2019). Ahora bien, para caracterizar el perfil nutritivo y establecer el uso potencial de cualquier nueva materia prima para Alimentación Animal es necesario conocer en primer lugar su composición química en detalle, así como las posibles limitaciones de uso en la formulación de raciones derivadas de dicha composición, incluyendo la presencia de sustancias tóxicas o con efectos antinutricionales (Marino et al., 2010; Zijlstra et al., 2007).

La composición química de la torta de camelina ha sido reportada por numerosos autores extranjeros recopilados parcialmente por Heuzé et al. (2017) y Paula et al. (2019), pero existen muy pocos trabajos al respecto realizados en España (Salas et al., 2017). Más aún, existe muy poca información respecto a la composición de la semilla, toda ella proporcionada por autores foráneos (Almeida et al., 2013; Bohme et al., 1997; Colombini et al., 2014; Hurtaud y Peyraud, 2007; Peng et al., 2014; Czarnik et al., 2017; Vollmann et al., 2007; Zubr, 2003a), menos todavía sobre la composición de la harina (Aziza et al., 2010; Brandao et al., 2018; Colombini et al., 2014; Salas et al., 2017) y muy escasa en el caso de la cascarilla (Salas et al., 2017).

El contenido de sustancias antinutricionales en la semilla y torta de camelina ha sido muy estudiado. Las sustancias identificadas incluyen glucosinolatos, inhibidores de tripsina, sinapina, ácido erúcico, ácido fítico y taninos condensados (Budin et al., 1995; Matthäus, 1997; Russo y Reggiani, 2012; Woyengo et al., 2018; Zubr, 2003a). Cuantitativamente y en comparación con otras semillas oleaginosas y sus tortas y harinas, los glucosinolatos y, en menor medida, los inhibidores de tripsina son los factores antinutricionales más importantes en la camelina (Woyengo et al., 2017). Los factores antitripsicos disminuyen la digestibilidad de la proteína, pero en los rumiantes el efecto solamente es importante cuando la ración es pobre en aminoácidos azufrados (Dixon y Hosking, 1992). Los glucosinolatos liberan tiocianatos e isotiocianatos tras su hidrólisis por los microorganismos ruminales, pero se cree que el efecto goitrogénico es menor que el observado con los glucosinolatos de la colza porque la estructura química es diferente (Matthäus y Zubr, 2000), aunque ello no descarta que la palatabilidad de la ración puede verse afectada negativamente por el sabor amargo y efecto astringente (Llewelyn et al., 2015; Salas et al., 2020).

La revisión de la literatura muestra que existe muy poca información sobre la composición química y nutricional de la semilla de camelina y sus subproductos obtenida en España. Asimismo, se pone de manifiesto que, entre las sustancias antinutricionales que contienen, los glucosinolatos son los más destacables en la alimentación de los rumiantes.

Objetivos

El objetivo del presente capítulo fue analizar detalladamente la composición química y nutricional de los productos de camelina disponibles en el mercado nacional de Alimentación Animal, con el fin de contribuir a un mejor conocimiento de los mismos, tanto en comparación con los utilizados en otros países como respecto a las materias primas análogas utilizadas en España.

Materiales y métodos

Materias primas estudiadas

Para el estudio se obtuvieron muestras de dos lotes de semilla, harina, torta y cascarilla de camelina de la empresa de fabricación de piensos INALSA (Ciudad Real, España), suministradas a su vez por la empresa Camelina Company España S.L. (Madrid, España). Todas las muestras se envasaron en bolsas de plástico con autocierre, convenientemente identificadas en cuanto a producto y lote.

Previamente a las determinaciones analíticas, se molieron 50 g de producto con cribas de dos tamaños diferentes en un molino Retsch ZM200 (Retsch, Haan, Alemania). El tamaño 1 mm se utilizó para todos los análisis químicos, excepto los de almidón y aminoácidos en que se utilizó el tamaño 0,5 mm. Todos los análisis se hicieron por duplicado.

Análisis de composición química básica

Los contenidos de materia seca, cenizas, grasa bruta y proteína bruta se determinaron con los procedimientos de AOAC (2006). Los contenidos de fibra neutro detergente, fibra ácido detergente y lignina ácido detergente se determinaron según Van Soest et al. (1991). El almidón se determinó según el procedimiento de ISO (2000). Los carbohidratos no fibrosos se calcularon por diferencia (Mertens, 1997).

Análisis de aminoácidos

Las muestras se sometieron a hidrólisis ácida de la proteína y péptidos incubándolas con ácido clorhídrico 6N durante 22 horas a 112°C en tubos provistos de tapón de rosca (Cohen y De Antonis, 1994; Liu et al., 1995). Después, las muestras se tamponaron y fueron derivatizadas con 6-aminoquinolil-N-hidroxisuccinimidil carbamato (AccQ-FluorTM, Waters, Milford, MA, USA). Como estándar interno se utilizó el ácido L-aminobutírico. El sistema cromatográfico utilizado fue un equipo

Waters Alliance System con automuestreador (Waters 2707), bomba binaria (Waters 1525) y detector de fluorescencia (Waters 2475 multi λ). El contenido en aminoácidos fue cuantificado mediante la comparación de la relación existente entre las áreas de los picos de cada uno de los aminoácidos y el estándar interno α -aminobutírico frente a la curva de calibración estándar con concentraciones de 0-300 pmol/ μ l para cada uno de los aminoácidos.

Análisis de minerales

El análisis del contenido en macro y microminerales fue llevado a cabo por el Servicio de Ionómica del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (Murcia, España), perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas, mediante espectroscopía de plasma ICP-OES. Esta técnica permite el análisis de la mayoría de los elementos de la tabla periódica. Las muestras fueron sometidas a una digestión ácida por microondas previa a su inyección en el equipo ICP-OES.

Análisis de glucosinolatos

Los análisis de glucosinolatos fueron realizados por el Servicio de Metabolómica del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (Murcia, España), perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Para las determinaciones se usó un equipo HPLC-DAD-MS/MS. El límite de detección fue 0,025 mg/g o 0,05 μ mol/g (peso molecular: 522 g/mol; Meadus et al., 2014).

Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se realizaron con el programa SAS University Edition 3.8 (SAS Institute, Cary, NC, USA). La prueba t de una muestra y los procedimientos GLM y CORR se utilizaron cuando fue necesario. La separación de medias se hizo con la prueba de Tukey. La significación estadística se estableció en $P < 0,05$, mientras que P entre 0,05 y 0,10 se consideró tendencia a significación.

Resultados y discusión

Composición química básica

La composición química básica de la semilla de camelina y sus subproductos se muestra en las **Tablas 1 a 4** en relación con los datos de composición recopilados tras una cuidadosa revisión de la bibliografía disponible.

Semilla de camelina

La composición de la semilla de camelina encontrada en el presente trabajo no difirió ($P > 0,05$) de la reportada en la bibliografía, excepto en el caso de las cenizas ($P < 0,05$), aunque el contenido de grasa bruta se situó claramente en el rango inferior (**Tabla 1**). La diferencia numérica de los contenidos de grasa bruta y la similitud de los contenidos proteína bruta con los valores la bibliografía es destacable teniendo en cuenta que ambos valores se correlacionan negativamente (Vollmann et al., 2005).

Tabla 1. Composición química de la semilla de camelina.

Componentes	Este trabajo		Bibliografía ¹ mín – máx	n
	$\bar{x} \pm \sigma$	$\bar{x} \pm \sigma$		
Materia seca (MS), %	94,0 ± 0,36	92,2 ± 3,08	88,7 – 94,5	3
Cenizas, % MS	5,30 ± 0,085*	3,98 ± 0,346	3,65 – 4,34	3
Proteína bruta, % MS	27,0 ± 1,46	27,2 ± 2,03	24,1 – 30,3	8
Grasa bruta, % MS	27,3 ± 5,91	37,4 ± 4,83	28,9 – 43,7	8
FND, % MS	22,5 ± 2,72	25,9 ± 5,07	18,3 – 29,0	4
FAD, % MS	10,7 ± 1,56	14,7 ± 5,56	8,9 – 22,1	4
LAD, % MS	1,33 ± 0,138	1,27	1,27	1
Almidón, % MS	1,62 ± 0,058	-	-	-

¹Almeida et al. (2013), Böhme et al. (1997), Colombini et al. (2014), Czarnik et al. (2017), Hurtaud y Peyraud (2007), Peng et al. (2014), Vollmann et al. (2007) y Zubr (2003a). *Valor diferente ($P < 0,05$) a la bibliografía. FAD, fibra ácido detergente. FND, fibra neutro detergente. LAD, lignina ácido detergente.

El menor contenido numérico de grasa bruta hallado en nuestro trabajo en comparación con la media de la bibliografía podría estar relacionado con la variedad de semilla analizada y la localización y condiciones de cultivo (Zubr, 2003b; Vollmann et al., 2005; Czarnik et al., 2017). En este sentido es importante tener presente que todos los trabajos incluidos en la **Tabla 1** han sido realizados en otros países, mayoritariamente del centro y norte de Europa. También cabe señalar que no hemos encontrado ningún trabajo previo en el que se haya reportado el contenido de almidón en la semilla de camelina o sus subproductos.

En comparación con otras semillas oleaginosas habituales en Alimentación Animal en España (**Figura 1**), la semilla de camelina tuvo los valores más equilibrados de proteína bruta, grasa bruta y fibra neutro detergente, situándose desde el punto de vista químico en una posición intermedia entre la semilla de soja (la de mayor contenido de proteína bruta) y las semillas de colza, girasol y lino (las de mayor contenido de grasa bruta).

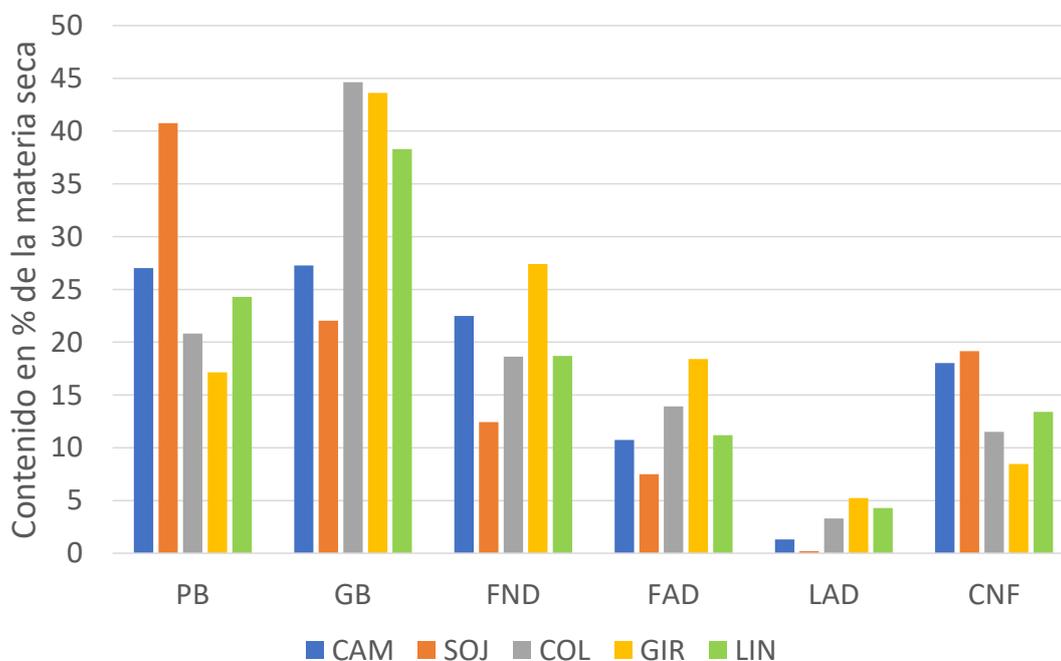


Figura 1. Composición química de la semilla de camelina (CAM) hallada en el presente trabajo en comparación con la composición de las semillas de soja (SOJ), colza (COL), girasol (GIR) y lino (LIN) según FEDNA (2019).

La fibra neutro detergente mostró menor grado de lignificación que la de las semillas de colza, girasol y lino, lo que anticipa una mayor digestibilidad de aquella. De hecho, con nuestros resultados y los valores de la **Figura 1** puede calcularse que la digestibilidad de la fibra neutro detergente en rumiantes sería del 86% en la semilla de camelina frente al 96, 58, 54 y 45% en las semillas de soja, colza, girasol y lino, respectivamente (Fox et al., 2004).

La composición de la grasa de la semilla de camelina no fue analizada en el presente trabajo, pero cabe destacar que, junto a la grasa de la semilla de lino, son las únicas ricas en ácido α -linolénico entre las semillas oleaginosas comunes (Doreau y Ferlay, 2015; Vollman et al., 2007), lo que tiene especial interés desde el punto de vista de la mejora de las cualidades saludables de la carne y la leche (Doreau et al., 2011; Kouba y Mourot, 2011). A partir del contenido medio de ácido α -linolénico hallado por Vollmann et al. (2007) y el contenido graso hallado en el presente trabajo puede calcularse que la semilla de camelina aportaría aproximadamente 90 g de ácido α -linolénico por kg de materia seca en comparación con los cerca de 185 g que serían aportados por la misma cantidad de semilla de lino (FEDNA, 2019).

Torta de camelina

El contenido de materia seca fue mayor ($P < 0,05$), los contenidos de fibra neutro detergente y ácido detergente tendieron a ser mayores ($P < 0,10$) y los contenidos de cenizas, proteína bruta, grasa bruta y lignina ácido detergente fueron menores ($P < 0,05$) que los valores encontrados en la bibliografía (**Tabla 2**).

Es destacable que los resultados reportados en la bibliografía muestran una enorme variabilidad con valores máximos que duplican o triplican los mínimos según el componente considerado. Esta variabilidad puede explicarse tanto por la eficacia del descascarillado previo al procesado como por la eficacia de la extracción del aceite (Dunford, 2012). Cuanto más eficiente es el proceso de descascarillado menor es el

contenido de fibra y mayor el de proteína en el producto final. Por otra parte, la maquinaria utilizada y las condiciones de presión afectan a la cantidad residual de aceite tras el proceso de extracción. Esto sugiere que la caracterización química de la torta de camelina en particular, y las tortas de oleaginosas en general, debería acompañarse de una clara descripción del proceso de obtención.

Tabla 2. Composición química de la torta de camelina.

Componentes	Este trabajo		Bibliografía ¹	
	$\bar{x} \pm \sigma$	$\bar{x} \pm \sigma$	mín – máx	n
Materia seca (MS), %	94,2 ± 0,04*	91,6 ± 1,82	86,8 – 93,5	17
Cenizas, % MS	5,20 ± 0,049*	5,68 ± 0,622	4,52– 6,70	16
Proteína bruta, % MS	31,1 ± 0,48*	37,2 ± 4,32	23,5 – 44,8	21
Grasa bruta, % MS	11,4 ± 0,06*	14,9 ± 3,86	9,0 – 26,0	21
FND, % MS	37,8 ± 1,08†	31,4 ± 6,58	23,3 – 43,4	14
FAD, % MS	19,4 ± 0,40†	17,6 ± 3,53	11,1 – 24,1	13
LAD, % MS	1,55 ± 0,020*	4,83 ± 1,950	2,60 – 6,20	3
Almidón, % MS	1,60 ± 0,017	-	-	-

¹Almeida et al. (2013), Böhme et al. (1997), Cais-Sokolińska et al. (2011), Cherian et al. (2009), Frame et al. (2007), Hurtaud y Peyraud (2007), Kahindi et al. (2014), Kim et al. (2017), Lawrence et al. (2016), Lawrence et al. (2018), Lee (2017), Llewellyn et al. (2015), Moloney et al. (1998), Moriel et al. (2011), Pekel et al. (2009), Pekel et al. (2015), Ryhänen et al. (2007), Salas et al. (2017), Smit y Beltranena (2017), Thacker y Widyaratne (2012) y Woyengo et al. (2018). *Valor diferente (P < 0,05) a la bibliografía. †Valor que tendió a ser diferente (P < 0,10) de la bibliografía. FAD, fibra ácido detergente. FND, fibra neutro detergente. LAD, lignina ácido detergente.

En la **Figura 2** se compara la composición química de la torta de camelina obtenida en el presente trabajo con la de otras tortas de oleaginosas usadas en España. Los contenidos de proteína bruta, grasa bruta y fibra ácido detergente de la torta de camelina fueron relativamente similares a los de la torta de colza, mientras que el contenido de lignina ácido detergente fue mucho menor que el de las tortas de colza y

girasol, lo que compensaría el mayor contenido de fibra neutro detergente desde el punto de vista de la digestibilidad. Así, el contenido de fibra neutro detergente digestible para rumiantes en la materia seca sería del 34% en la torta de camelina frente al 13 y 19% en las tortas de colza y girasol, respectivamente, aplicando los cálculos de Fox et al. (2004).

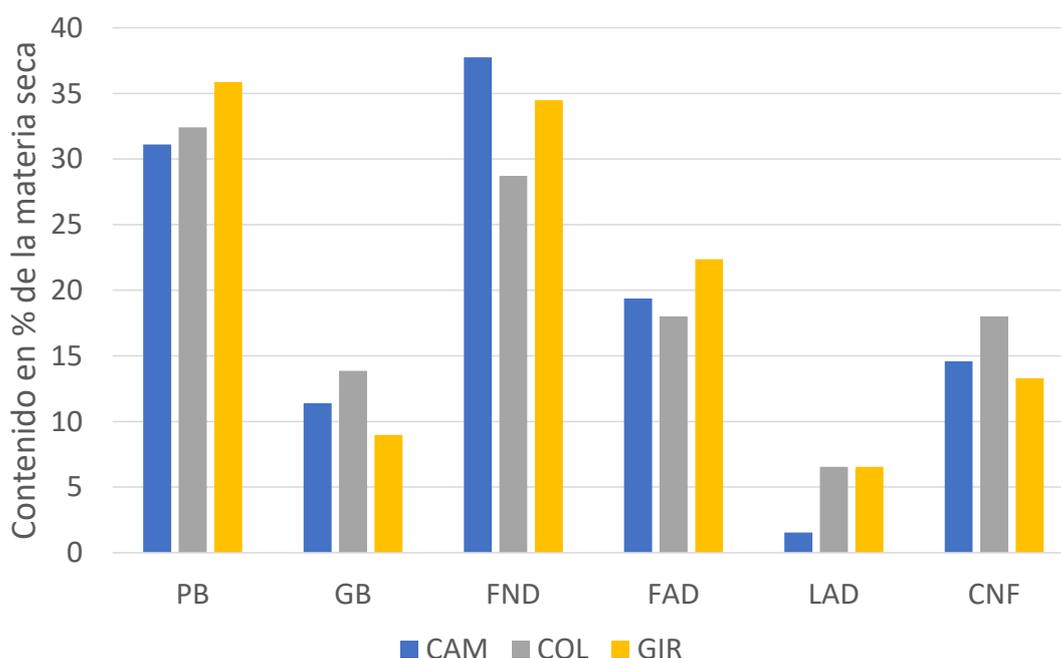


Figura 2. Composición química de la torta de camelina (CAM) hallada en el presente trabajo en comparación con la composición de las tortas de colza 12,7 (COL) y girasol 9,0 (GIR) según FEDNA (2019).

Harina de camelina

Muy pocos trabajos han reportado la composición química de la harina de camelina (**Tabla 3**). En nuestro trabajo encontramos que la harina de camelina mostró menor contenido de materia seca y grasa bruta ($P < 0,05$), un contenido de fibra ácido detergente que tendió a ser menor ($P < 0,10$), mayores de contenidos de cenizas y fibra neutro detergente ($P < 0,05$) y ausencia de diferencias en los contenidos de

proteína bruta y lignina ácido detergente ($P > 0,05$) en comparación con los valores de la bibliografía (**Tabla 2**).

Tabla 3. Composición química de la harina de camelina.

Componentes	Este trabajo		Bibliografía ¹ mín – máx	n
	$\bar{x} \pm \sigma$	$\bar{x} \pm \sigma$		
Materia seca (MS), %	91,1 ± 0,03*	92,8 ± 1,77	91,5 – 94,0	2
Cenizas, % MS	6,94 ± 0,044*	6,25 ± 0,591	5,70 – 7,09	4
Proteína bruta, % MS	41,9 ± 1,86	40,8 ± 3,30	38,4 – 45,7	4
Grasa bruta, % MS	1,98 ± 0,076*	4,64 ± 2,252	1,3 – 5,8	4
FND, % MS	42,4 ± 0,15*	35,0 ± 10,85	19,8 – 45,6	4
FAD, % MS	17,6 ± 0,79†	21,4 ± 5,42	17,4 – 27,6	3
LAD, % MS	1,94 ± 0,794	4,95 ± 1,344	4,0 – 5,9	2
Almidón, % MS	2,72 ± 0,608	-	-	-

¹Aziza et al. (2010), Brandao et al. (2018), Colombini et al. (2014) y Salas et al. (2017).

*Valor diferente ($P < 0,05$) a la bibliografía. †Valor que tendió a ser diferente ($P < 0,10$) de la bibliografía. FAD, fibra ácido detergente. FND, fibra neutro detergente. LAD, lignina ácido detergente.

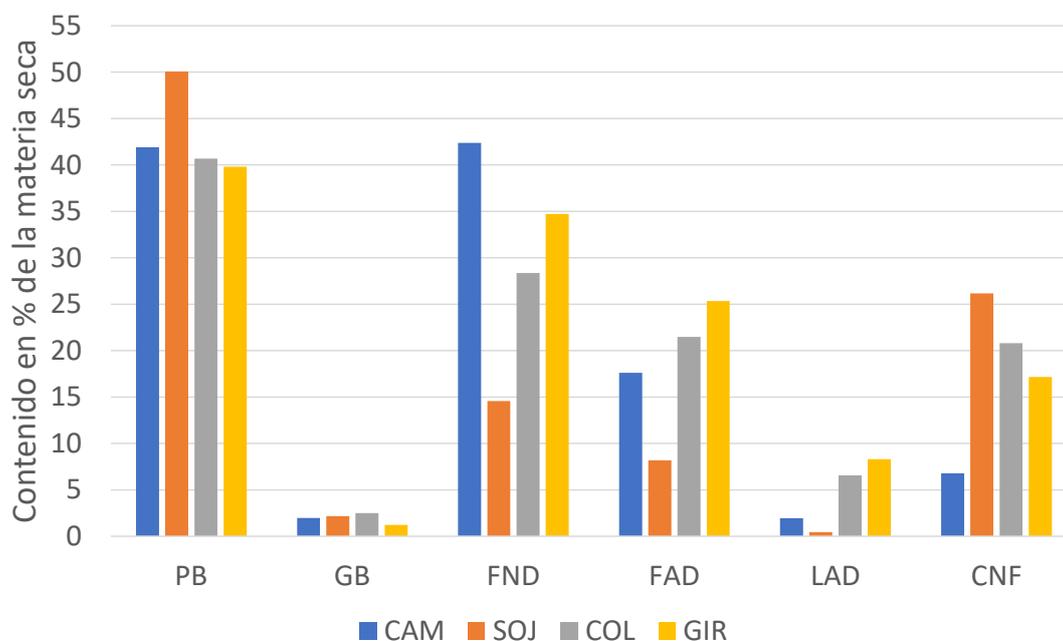


Figura 3. Composición química de la harina de camelina (CAM) hallada en el presente trabajo en comparación con la composición de las harinas de soja 44 (SOJ), colza 36 (COL) y girasol 36 (GIR) según FEDNA (2019).

Como puede observarse en la **Figura 3**, el contenido de proteína bruta de la harina de camelina hallado en el presente trabajo estuvo en línea con los contenidos de las harinas de colza y girasol descascarillado, todos ellos inferiores al contenido de la harina de soja 44. El contenido de grasa bruta fue muy parecido entre harinas. El contenido de fibra neutro detergente fue muy superior en la harina de camelina, especialmente en comparación con la harina de soja, aunque el grado de lignificación fue inferior al de las harinas de colza y girasol, lo que supondría que la mayor proporción de fibra neutro detergente estaría compensada por una digestibilidad más elevada de la misma: 89% vs. 92, 45 y 43% en las harinas de soja, colza y girasol, respectivamente (Fox et al., 2004).

Cascarilla de camelina

La composición de la cascarilla de camelina se muestra en la **Tabla 4**. Nuestros valores difieren de los encontrados por Salas et al. (2017), especialmente en lo referido a los contenidos de proteína bruta y grasa bruta, lo que podría explicarse porque la cascarilla de camelina presentó una proporción apreciable de semillas, probablemente debido a la ineficacia del sistema de limpieza previo al procesado. Por otra parte, los autores citados son la única referencia que hemos encontrado en cuanto a la composición de la cascarilla de camelina en la literatura.

En comparación con otras cascarillas de oleaginosas comunes en Alimentación Animal, particularmente en el caso de rumiantes y conejos, la cascarilla de camelina presentó un contenido de proteína bruta similar a la cascarilla de soja y mayor que la cascarilla de girasol, un contenido de grasa bruta mayor que ambas y menor contenido de fibra neutro detergente y ácido detergente (**Figura 4**). El contenido de lignina fue algo superior al de la cascarilla de soja, pero muy inferior al de la cascarilla de girasol. El perfil químico de la cascarilla de camelina indica que su valor nutritivo para rumiantes debe ser muy superior al de la cascarilla de girasol e igual o incluso mejor

que el de la cascarilla de soja. A partir de Fox et al. (2004) puede calcularse que los contenidos de fibra neutro detergente digestible serían 43, 59 y 26% en las cascarillas de camelina, soja y girasol, respectivamente.

Tabla 4. Composición química de la cascarilla de camelina.

Componentes	Este trabajo $\bar{x} \pm \sigma$	Bibliografía ¹ \bar{x}
Materia seca (MS), %	92,6 ± 0,11	92,1
Cenizas, % MS	8,36 ± 1,190	5,4
Proteína bruta, % MS	14,4 ± 3,58	9,0
Grasa bruta, % MS	11,4 ± 3,60	5,4
FND, % MS	54,1 ± 3,82	54,9
FAD, % MS	30,8 ± 3,15	34,8
LAD, % MS	4,71 ± 0,810	7,8
Almidón, % MS	0,28 ± 0,011	-

FAD, fibra ácido detergente. FND, fibra neutro detergente. LAD, lignina ácido detergente. ¹Salas et al. (2017).

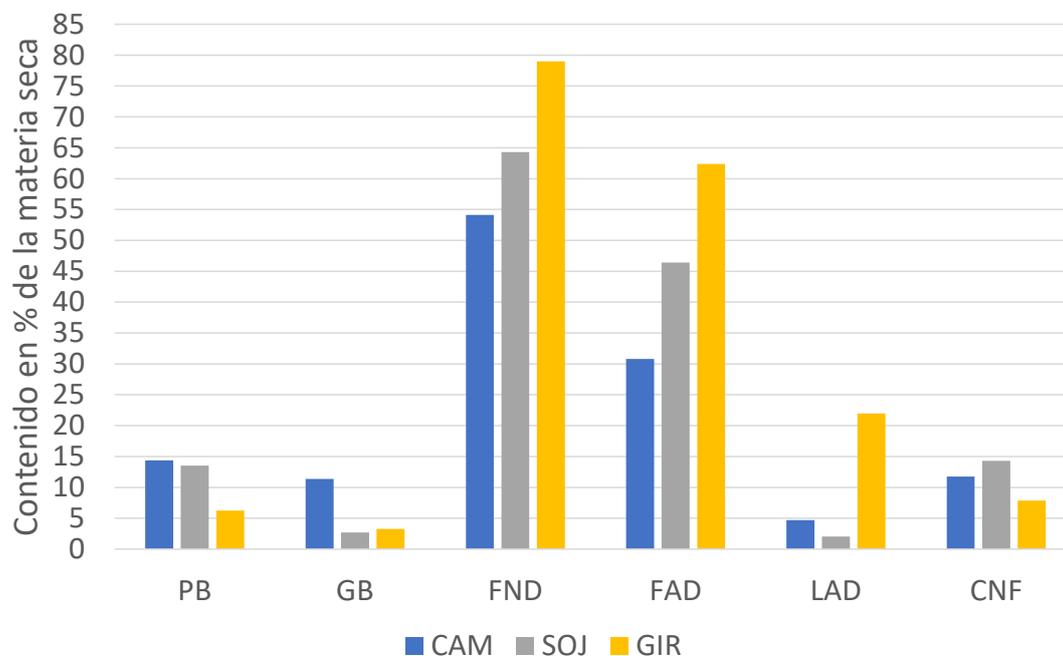


Figura 4. Composición química de la cascarilla de camelina (CAM) hallada en el presente trabajo en comparación con la composición de las cascarillas de soja (SOJ) y girasol (GIR) según FEDNA (2019).

Contenidos de aminoácidos

En la **Tabla 5** se muestra el perfil de aminoácidos de la proteína bruta de la semilla y los subproductos de camelina hallado en el presente trabajo. El contenido de aminoácidos en la proteína bruta de la cascarilla fue muy inferior al de los otros productos (51% vs. 89, 84 y 82% en la semilla, torta y harina), lo que contrasta con los resultados reportados en las cascarillas de colza y soja (Heuzé et al., 2017).

Tabla 5. Contenidos medios de aminoácidos (% de la proteína bruta, PB) en la semilla y los subproductos de camelina. Entre paréntesis, valores de proteína bruta.

Aminoácidos	Semilla (27,0%)	Torta (31,1%)	Harina (41,9%)	Cascarilla (14,4%)
Esenciales				
Arginina	7,95	7,45	7,28	3,60
Fenilalanina	4,11	3,76	3,68	2,45
Histidina	2,56	2,49	2,39	1,50
Isoleucina	3,46	3,13	3,02	1,88
Leucina	6,23	5,66	5,58	3,55
Lisina	4,88	4,68	4,17	2,43
Metionina	1,48	1,45	1,45	0,54
Treonina	3,87	3,61	3,53	2,29
Valina	4,77	4,33	4,18	2,61
No esenciales				
Alanina	4,45	4,13	4,00	2,63
Aspártico	9,40	8,67	8,37	6,50
Cisteína	1,65	1,74	1,71	0,85
Glicina	4,64	4,53	4,34	2,77
Glutámico	17,60	17,03	16,52	8,89
Prolina	4,87	4,56	4,48	4,52
Serina	4,61	4,42	4,34	2,77
Tirosina	2,72	2,53	2,55	1,32

El aminoácido esencial más abundante fue la arginina seguida de la leucina, mientras que el aminoácido no esencial presente en mayor proporción fue el ácido glutámico, que además fue el más abundante de todos, seguido del ácido aspártico. Esto puede considerarse ventajoso en la alimentación de cerdos y aves, no solo por la esencialidad de los aportes de arginina y leucina, sino también porque los ácidos glutámico y aspártico son los principales combustibles metabólicos en la mucosa del intestino delgado, contribuyendo a su funcionalidad e integridad (Hou et al., 2015; Wu et al., 2013), y se ha encontrado que su digestibilidad intestinal aparente en la torta de camelina es igual a la de la harina de colza, con valores próximos al 80 y 70%, respectivamente (Almeida et al., 2013). En el caso particular del ácido glutámico, su consumo puede considerarse semiesencial en lechones y cerdas lactantes (Hou y Wu, 2018). Adicionalmente, se ha observado que puede reducir el daño causado por micotoxinas (Wu et al., 2014) y mejorar la respuesta productiva en pollos sometidos a estrés por calor (Porto et al., 2015).

Semilla de camelina

Solamente hemos encontrado dos trabajos publicados en los que se detalla el contenido de aminoácidos de la semilla de camelina y nuestros resultados no difieren ($P > 0,05$) de la media de ambos (**Tabla 6**).

En la **Figura 5** puede observarse que el contenido de algunos aminoácidos esenciales seleccionados fue inferior en la semilla de camelina frente a la harina de soja, sobre todo en el caso de la lisina, isoleucina y arginina. Excepto por el contenido de arginina, en que la semilla de camelina destaca claramente, los contenidos de los demás aminoácidos son próximos a los de las semillas de colza y lino, siendo las proporciones más altas en mayor o menor grado que en la semilla de girasol en todos los casos.

Tabla 6. Contenido de aminoácidos (en % de la materia seca) de la semilla de camelina.

Aminoácidos	Este trabajo		Bibliografía ¹ mín – máx	n
	$\bar{x} \pm \sigma$	$\bar{x} \pm \sigma$		
Esenciales				
Arginina	2,15 ± 0,330	2,16 ± 0,284	1,96 – 2,37	2
Fenilalanina	1,11 ± 0,163	1,08 ± 0,099	1,01 – 1,15	2
Histidina	0,69 ± 0,104	0,65 ± 0,027	0,63 – 0,67	2
Isoleucina	0,94 ± 0,144	0,98 ± 0,033	0,95 – 1,00	2
Leucina	1,68 ± 0,261	1,7 ± 0,14	1,60 – 1,80	2
Lisina	1,32 ± 0,244	1,22 ± 0,041	1,19 – 1,25	2
Metionina	0,40 ± 0,022	0,45 ± 0,046	0,41 – 0,48	2
Treonina	1,05 ± 0,166	1,05 ± 0,04	1,02 – 1,08	2
Valina	1,29 ± 0,203	1,36 ± 0,07	1,31 – 1,41	2
No esenciales				
Alanina	1,20 ± 0,201	1,16 ± 0,074	1,11 – 1,22	2
Aspártico	2,54 ± 0,454	2,19 ± 0,125	2,10 – 2,28	2
Cisteína	0,45 ± 0,059	0,57 ± 0,084	0,51 – 0,63	2
Glicina	1,25 ± 0,197	1,36 ± 0,063	1,31 – 1,41	2
Glutámico	4,76 ± 0,720	4,32 ± 0,523	3,95 – 4,69	2
Prolina	1,32 ± 0,204	1,35 ± 0,179	1,23 – 1,48	2
Serina	1,25 ± 0,195	1,23 ± 0,022	1,21 – 1,25	2
Tirosina	0,74 ± 0,081	0,73	-	1

¹Almeida et al. (2013) y Zubr (2003a).

Torta de camelina

En línea con el menor contenido de proteína bruta de la torta de camelina analizada en nuestro trabajo en comparación con trabajos previos (**Tabla 2**), los contenidos de todos los aminoácidos esenciales y no esenciales determinados fueron inferiores ($P < 0,05$) a los valores medios de la bibliografía o tendieron a serlo ($P < 0,10$) (**Tabla 7**).

Los contenidos de todos los aminoácidos fueron inferiores a los de las tortas de colza y girasol, excepto en el caso de la arginina y la lisina, respectivamente (**Figura 6**), lo que indica que la torta de camelina es, en conjunto, peor fuente de aminoácidos esenciales que la torta de colza, y ligeramente peor que la torta de girasol.

Tabla 7. Contenido de aminoácidos (en % de la materia seca) de la torta de camelina.

Aminoácidos	Este trabajo $\bar{x} \pm \sigma$	$\bar{x} \pm \sigma$	Bibliografía ¹ mín – máx	n
Esenciales				
Arginina	2,32 ± 0,027*	2,66 ± 0,895	0,37 – 3,25	11
Fenilalanina	1,17 ± 0,016*	1,54 ± 0,118	1,34 – 1,74	11
Histidina	0,78 ± 0,003*	0,92 ± 0,084	0,78 – 1,09	11
Isoleucina	0,97 ± 0,003*	1,43 ± 0,271	1,18 – 2,14	11
Leucina	1,76 ± 0,022*	2,46 ± 0,245	2,00 – 2,90	11
Lisina	1,46 ± 0,054†	1,78 ± 0,137	1,57 – 2,07	11
Metionina	0,45 ± 0,015*	0,66 ± 0,165	0,31 – 0,99	10
Treonina	1,12 ± 0,013*	1,5 ± 0,108	1,32 – 1,71	11
Valina	1,35 ± 0,010*	1,97 ± 0,177	1,74 – 2,31	10
No esenciales				
Alanina	1,28 ± 0,018*	1,67 ± 0,155	1,4 – 1,87	8
Aspártico	2,70 ± 0,006*	3,07 ± 0,267	2,47 – 3,35	8
Cisteína	0,54 ± 0,015*	0,72 ± 0,224	0,3 – 0,91	8
Glicina	1,41 ± 0,002*	1,91 ± 0,135	1,7 – 2,14	8
Glutámico	5,30 ± 0,022*	6,13 ± 0,455	5,34 – 6,81	8
Prolina	1,42 ± 0,019*	1,89 ± 0,22	1,56 – 2,13	7
Serina	1,38 ± 0,008*	1,59 ± 0,185	1,30 – 1,91	8
Tirosina	0,79 ± 0,014*	0,99 ± 0,093	0,88 – 1,14	6

¹Almeida et al. (2013), Böhme et al. (1997), Cherian et al. (2009), Kahindi et al. (2014), Kim et al. (2017), Pekel et al. (2009), Pekel et al. (2015), Ryhänen et al. (2007), Smit y Beltranena (2017), Thacker y Widyaratne (2012) y Woyengo et al. (2018). *Valor diferente (P < 0,05) a la bibliografía. †Valor que tendió a ser diferente (P < 0,10) de la bibliografía.

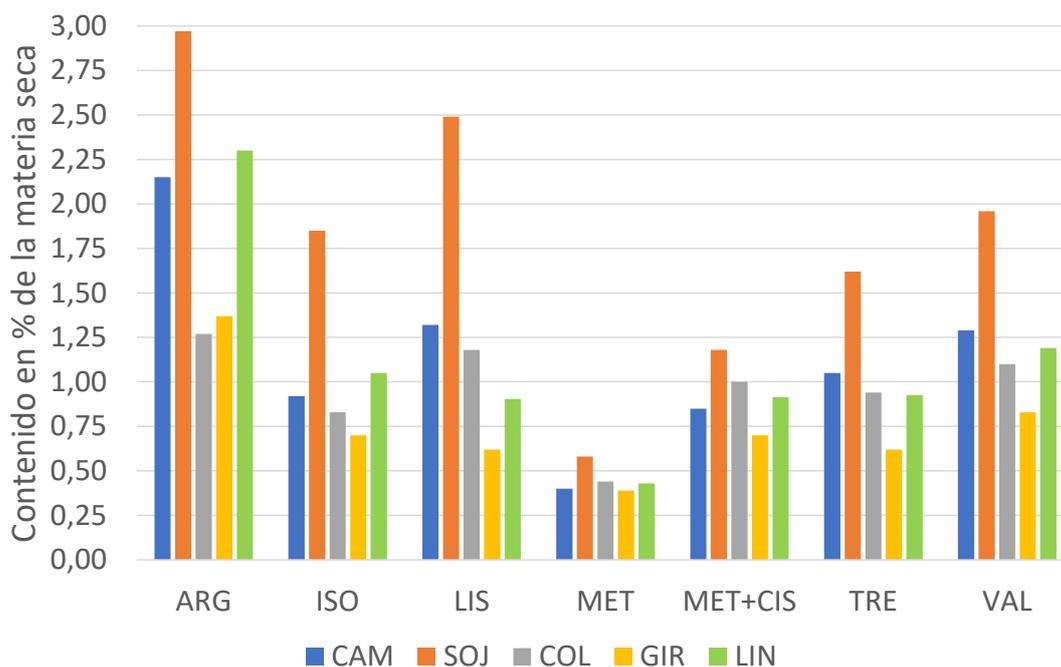


Figura 5. Contenidos de algunos aminoácidos esenciales en la semilla de camelina (CAM) determinados en el presente trabajo en comparación con los contenidos de las semillas de soja (SOJ), colza (COL), girasol (GIR) y lino (LIN) según FEDNA (2019).

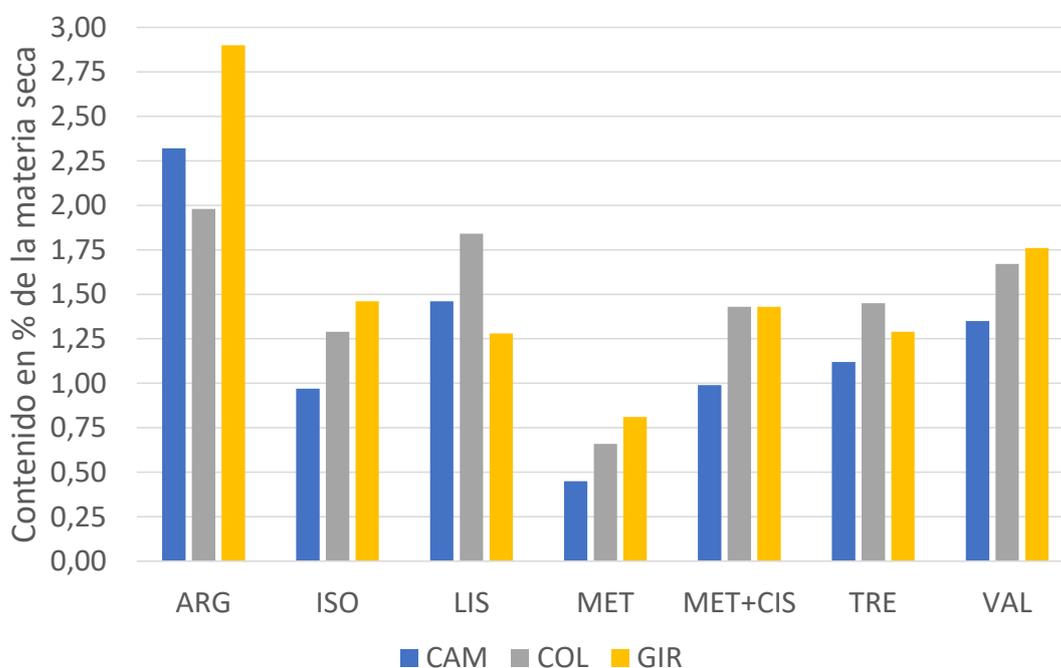


Figura 6. Contenidos de algunos aminoácidos esenciales en la torta de camelina (CAM) hallados en el presente trabajo en comparación con los contenidos de las tortas de colza 12,7 (COL) y girasol 9,0 (GIR) según FEDNA (2019).

Harina de camelina

Aunque el contenido de proteína bruta de la harina de camelina de nuestro trabajo fue similar al encontrado en trabajos previos (**Tabla 3**), los contenidos de todos los aminoácidos esenciales determinados fueron inferiores ($P < 0,05$) a los valores medios de la bibliografía o tendieron a serlo ($P < 0,10$) (**Tabla 8**). Las mismas diferencias se observaron en los aminoácidos no esenciales excepto en el caso del ácido glutámico, cuyo contenido tendió a ser mayor ($P < 0,10$) que el valor medio de la bibliografía.

Tabla 8. Contenido de aminoácidos (en % de la materia seca) de la harina de camelina.

Aminoácidos	Este trabajo $\bar{x} \pm \sigma$	$\bar{x} \pm \sigma$	Bibliografía ¹ mín – máx	n
Esenciales				
Arginina	3,05 ± 0,038*	3,64 ± 0,187	3,51 – 3,77	2
Fenilalanina	1,54 ± 0,017*	2,05 ± 0,305	1,84 – 2,27	2
Histidina	1,00 ± 0,005*	1,41 ± 0,567	1,01 – 1,81	2
Isoleucina	1,26 ± 0,001*	1,88 ± 0,321	1,66 – 2,11	2
Leucina	2,34 ± 0,032*	2,96 ± 0,255	2,78 – 3,14	2
Lisina	1,75 ± 0,007*	2,12 ± 0,003	2,12 – 2,12	2
Metionina	0,61 ± 0,005*	0,94 ± 0,29	0,73 – 1,14	2
Treonina	1,48 ± 0,015†	1,55 ± 0,289	1,35 – 1,76	2
Valina	1,75 ± 0,005*	2,53 ± 0,408	2,24 – 2,82	2
No esenciales				
Alanina	1,68 ± 0,013*	2,32 ± 0,558	1,92 – 2,71	2
Aspártico	3,51 ± 0,024*	3,79 ± 0,322	3,57 – 4,02	2
Cisteína	0,72 ± 0,002*	0,90 ± 0,039	0,87 – 0,93	2
Glicina	1,82 ± 0,015*	2,52 ± 0,476	2,19 – 2,86	2
Glutámico	6,92 ± 0,013†	6,82 ± 0,062	6,78 – 6,87	2
Prolina	1,88 ± 0,007*	2,51 ± 0,454	2,19 – 2,83	2
Serina	1,82 ± 0,024*	2,33 ± 0,632	1,89 – 2,78	2
Tirosina	1,07 ± 0,013*	1,39 ± 0,275	1,19 – 1,58	2

¹Brandao et al. (2018) y Colombini et al. (2014). *Valor diferente ($P < 0,05$) a la bibliografía. †Valor que tendió a ser diferente ($P < 0,10$) de la bibliografía.

Los contenidos de todos los aminoácidos esenciales seleccionados fueron inferiores en mayor menor grado a los de la harina de soja (**Figura 7**). También fueron inferiores a los de la harina de colza, excepto en el caso de la arginina, y a los de la harina de girasol, excepto en el caso de la lisina y la treonina, lo que indica que la harina de camelina es, en conjunto, peor fuente de aminoácidos esenciales que las harinas de soja y colza y ligeramente peor que la harina de girasol. Sin embargo, el contenido de ácido glutámico, cuya importancia a pesar de no ser esencial se ha discutido más arriba, fue superior al de la harina de colza (INRA, 2004).

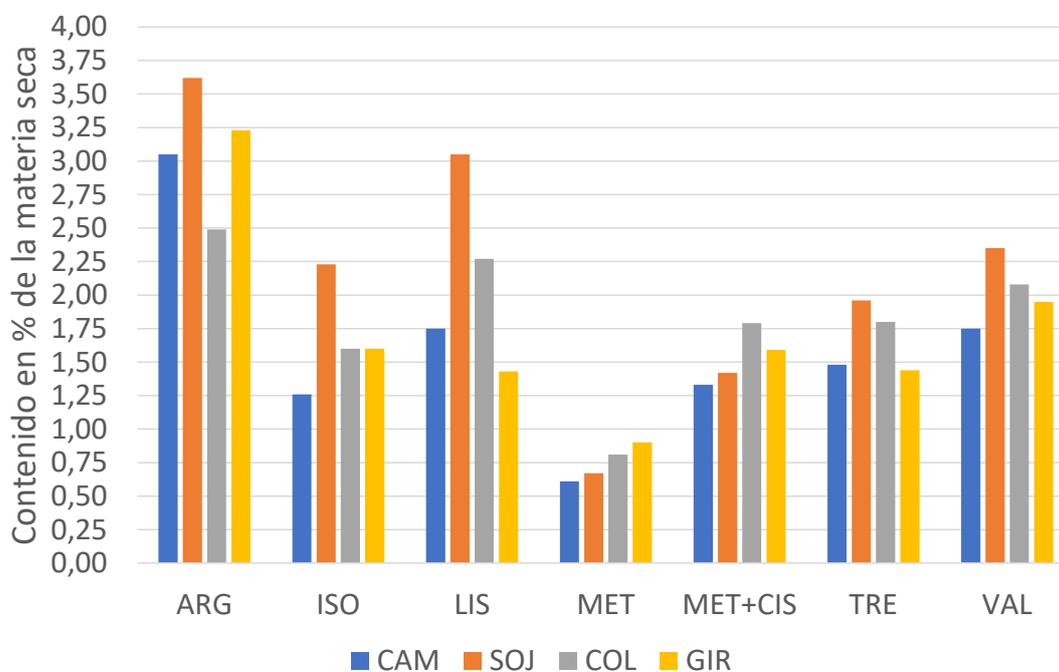


Figura 7. Contenidos de algunos aminoácidos esenciales en la harina de camelina (CAM) hallados en el presente trabajo en comparación con los contenidos de las harinas de soja 44 (SOJ), colza 36 (COL) y girasol 36 (GIR) según FEDNA (2019).

Cascarilla de camelina

El contenido de aminoácidos de la cascarilla de camelina se muestra en la **Tabla 9**. No hemos encontrado trabajos publicados en relación con el contenido de aminoácidos de la cascarilla de camelina, por lo que los datos aquí presentados son novedosos. El

contenido total y el perfil de aminoácidos de la proteína de la cascarilla fue notablemente diferente al de los otros productos, lo que podría deberse a un mayor contenido de compuesto nitrogenados no proteicos y a diferencias en las proporciones de las distintas fracciones proteicas (albúminas, globulinas, glutelinas y prolaminas), como se ha observado en otras semillas (Singh y Jambunathan, 1982).

Los contenidos de los aminoácidos esenciales seleccionados en la cascarilla de camelina fueron menores que en la cascarilla de soja, pero mayores que en la cascarilla de girasol, excepto en el caso de los aminoácidos azufrados (**Figura 8**).

Tabla 9. Contenidos de aminoácidos (% sobre materia seca) en la cascarilla de camelina (media \pm desviación típica).

Esenciales		No esenciales	
Arginina	0,52 \pm 0,305	Alanina	0,38 \pm 0,176
Fenilalanina	0,35 \pm 0,166	Aspártico	0,93 \pm 0,431
Histidina	0,22 \pm 0,102	Cisteína	0,12 \pm 0,052
Isoleucina	0,27 \pm 0,132	Glicina	0,40 \pm 0,186
Leucina	0,51 \pm 0,244	Glutámico	1,28 \pm 0,742
Lisina	0,35 \pm 0,206	Prolina	0,65 \pm 0,156
Metionina	0,08 \pm 0,028	Serina	0,40 \pm 0,183
Treonina	0,33 \pm 0,151	Tirosina	0,19 \pm 0,092
Valina	0,38 \pm 0,183		

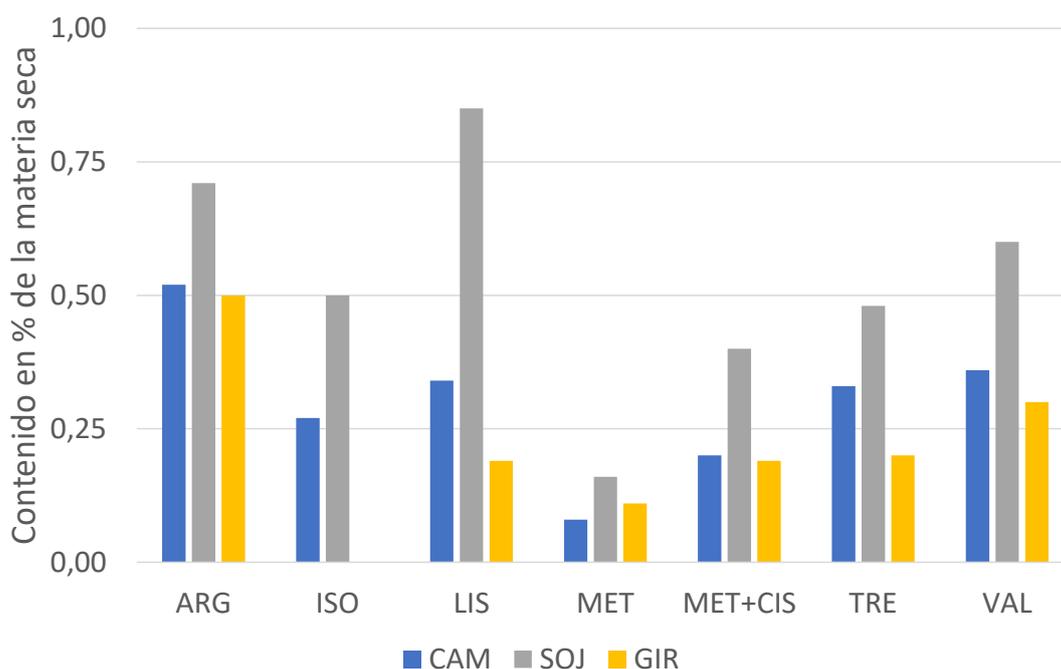


Figura 8. Contenidos de algunos aminoácidos esenciales en la cascarilla de camelina (CAM) hallados en el presente trabajo en comparación con los contenidos de las cascarillas de soja (SOJ) y girasol (GIR) según FEDNA (2019).

Predicción del contenido de aminoácidos a partir del contenido de proteína bruta

Con los resultados del presente estudio unidos a los valores recopilados de la bibliografía, se investigó la relación existente entre el contenido de proteína bruta y los contenidos de los diferentes aminoácidos con el fin de obtener ecuaciones de predicción de los contenidos de los segundos a partir del primero (Mosse y Baudet, 1983). Solo se obtuvieron dos modelos de predicción significativos o con tendencia a serlo para la semilla (alanina y fenilalanina) y no se encontró ningún modelo significativo para la harina. No obstante, se pudieron establecer modelos significativos para la práctica totalidad de los aminoácidos, con las excepciones de arginina, cistina y serina (**Tabla 10**). La dificultad para obtener ecuaciones de regresión válidas en el caso de la semilla y la harina podrían explicarse por el bajo número de estudios disponibles (tres en ambos casos) frente la torta (11 en total). Las ecuaciones obtenidas pueden ser útiles para caracterizar el perfil de aminoácidos de la semilla y,

sobre todo, la torta de camelina a partir de la determinación de su contenido de proteína.

Tabla 10. Modelos de regresión para la predicción del porcentaje de aminoácidos en la materia seca de la semilla, la torta y la harina de camelina a partir del porcentaje de proteína bruta (PB) en la materia seca.

Aminoácidos	Producto	Ecuación	R ²	P
Alanina	Semilla	0,428 (±0,082) + 0,028 (±0,003) x PB	0,98	0,07
	Torta	-0,161 (±0,552) + 0,048 (±0,015) x PB	0,52	0,01
Aspártico	Torta	0,676 (±0,874) + 0,063 (±0,023) x PB	0,41	0,03
Fenilalanina	Semilla	0,135 (±0,054) + 0,036 (±0,002) x PB	0,99	0,04
	Torta	-0,255 (±0,204) + 0,047 (±0,005) x PB	0,91	<0,001
Glicina	Torta	-0,603 (±0,262) + 0,066 (±0,007) x PB	0,91	<0,001
Glutámico	Torta	0,531 (±1,023) + 0,147 (±0,027) x PB	0,79	0,001
Histidina	Torta	0,179 (±0,312) + 0,019 (±0,008) x PB	0,41	0,04
Isoleucina	Torta	-0,737 (±0,241) + 0,055 (±0,006) x PB	0,89	<0,001
Leucina	Torta	-0,642 (±0,557) + 0,080 (±0,015) x PB	0,76	0,001
Lisina	Torta	-0,176 (±0,241) + 0,052 (±0,006) x PB	0,88	<0,001
Metionina	Torta	-0,903 (±0,543) + 0,041 (±0,014) x PB	0,44	0,02
Prolina	Torta	-0,936 (±0,593) + 0,074 (±0,016) x PB	0,70	0,002
Tirosina	Torta	-0,049 (±0,243) + 0,027 (±0,009) x PB	0,46	0,02
Treonina	Torta	0,065 (±0,466) + 0,038 (±0,012) x PB	0,48	0,02
Triptófano	Torta	0,177 (±0,093) + 0,009 (±0,002) x PB	0,56	0,008
Valina	Torta	-0,508 (±0,763) + 0,064 (±0,020) x PB	0,50	0,01

Contenidos de minerales

Los contenidos de los minerales con un papel reconocido en el organismo (NRC, 2005; Suttle, 2010) que fueron identificados en las materias primas analizadas se muestran en las **Tablas 11 a 13**. No hemos encontrado trabajos publicados que reporten el contenido de minerales de la harina y la cascarilla de camelina y solamente un trabajo que presenta los contenidos en la semilla (Czarnik et al., 2017) con algo de detalle. Por tanto, los resultados aquí presentados son muy novedosos y suponen un aporte valioso a la caracterización química de los productos estudiados. Más aún, se presentan por primera vez contenidos de varios macrominerales y oligoelementos.

En general, todos los productos mostraron al potasio como mineral principal, un valor muy bajo de sodio y un mayor contenido de fósforo que de calcio, excepto en la cascarilla, lo que está en línea con la composición reportada en otras semillas oleaginosas y sus subproductos (INRA, 2002, FEDNA, 2019). También en coincidencia con los valores de la bibliografía para estos tipos de materias primas, los microminerales más abundantes fueron el hierro y el zinc.

Semilla de camelina

El contenido de calcio de la semilla de camelina tendió a ser diferente del valor medio de la bibliografía ($P < 0,10$), pero no hubo diferencias ($P > 0,05$) en el contenido de fósforo (**Tabla 11**). Los contenidos de hierro y manganeso mostraron diferencias numéricas apreciables con los valores reportados por Czarnik et al. (2017). Estos autores observaron que los contenidos de potasio, hierro, manganeso y zinc pueden afectarse por la densidad de siembra y/o el año de cultivo. De los resultados obtenidos en estudios con semilla de colza puede desprenderse que otros factores que podrían influir en los contenidos de minerales de la semilla de camelina son la variedad cultivada y la fertilización aplicada (Kowalska et al., 2020; Szczepaniak et al., 2017).

Tabla 11. Contenido de minerales (sobre materia seca) de la semilla de camelina.

Minerales	Este trabajo $\bar{x} \pm \sigma$	$\bar{x} \pm \sigma$	Bibliografía ¹ mín – máx	n
Macrominerales, %				
Azufre	0,62 ± 0,049	-	-	-
Calcio	0,46 ± 0,043 [†]	0,25 ± 0,007	0,24 – 0,25	2
Fósforo	0,79 ± 0,071	0,52 ± 0,191	0,38 – 0,65	2
Magnesio	0,29 ± 0,021	0,26	0,26	1
Potasio	1,2 ± 0,01	1,1	1,13	1
Sodio	0,01 ± 0,001	-	-	-
Oligoelementos, ppm				
Boro	12 ± 0,5	-	-	-
Cobre	6,0 ± 1,1	5,0	-	1
Cromo	0,80 ± 0,792	-	-	-
Hierro	122 ± 7,2	70	-	1
Litio	0,51 ± 0,126	-	-	-
Manganeso	35 ± 2,0	18	-	1
Molibdeno	0,4 ± 0,24	-	-	-
Níquel	1,2 ± 0,46	3,3	-	1
Rubidio	2,8 ± 0,16	-	-	-
Vanadio	0,10 ± 0,035	-	-	-
Zinc	51 ± 5,0	51 ± 25,5	-	2

¹Almeida et al. (2013), Czarnik et al. (2017) y Matthäus y Zubr (2000). [†]Valor que tendió a ser diferente ($P < 0,10$) de la bibliografía.

Los contenidos de calcio, fósforo y azufre fueron superiores a los de las semillas de soja, colza, girasol y lino. El contenido de magnesio fue similar al de las semillas de soja y colza, pero menor que en las semillas de girasol y lino, y el contenido de potasio fue inferior al de la semilla soja, pero superior al de las otras semillas (**Figura 9**).

Asumiendo un contenido de ácido fítico de 18 g/kg (Colombini et al., 2014; Russo y Reggiani, 2012) y un valor medio de fósforo de 0,61%, puede calcularse que el fósforo ligado a inositol sería el 64% del fósforo total, un valor similar al de las semillas de soja, colza y lino, pero muy inferior al de la semilla de girasol (INRA, 2002).

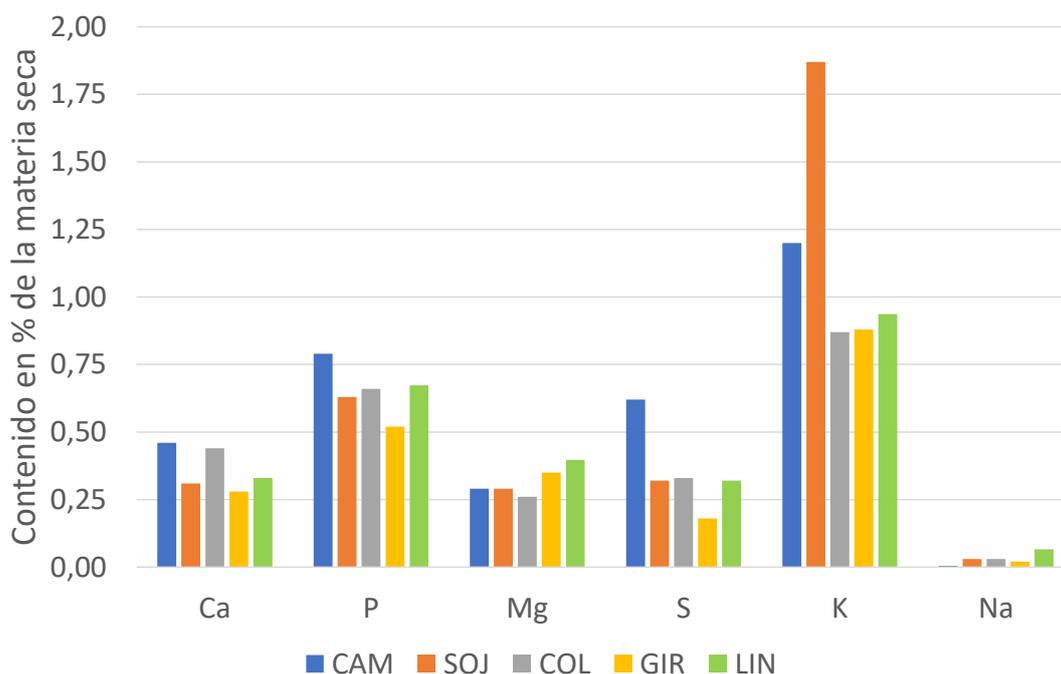


Figura 9. Contenidos de macrominerales en la semilla de camelina (CAM) hallados en el presente trabajo en comparación con los contenidos de las semillas de soja (SOJ), colza (COL), girasol (GIR) y lino (LIN) según FEDNA (2019).

El contenido de cobre fue similar al de la semilla de colza, ambos inferiores a los contenidos de las semillas de soja, girasol y lino (**Figura 10**). El contenido de hierro fue menor que en las otras semillas oleaginosas, aunque próximo al de la semilla de colza. El contenido de manganeso estuvo comprendido entre los de las semillas de soja y colza, y fue superior al de las semillas de girasol y lino. El contenido de zinc se situó entre los contenidos de las semillas de colza y lino y la de girasol, siendo superior al de la semilla soja.

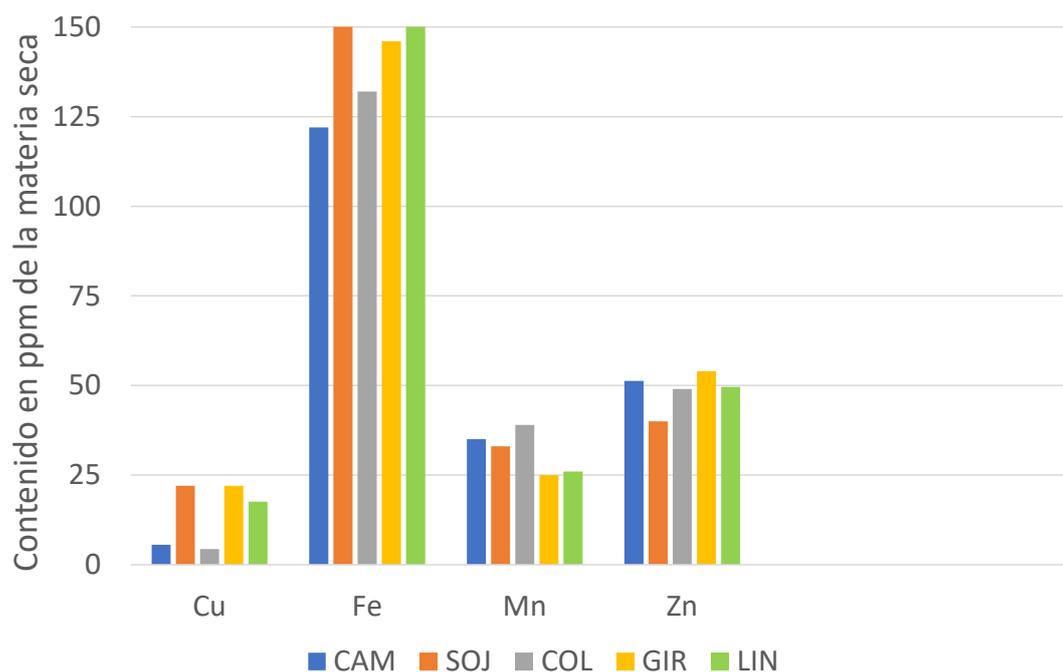


Figura 10. Contenidos de oligoelementos en la semilla de camelina (CAM) hallados en el presente trabajo en comparación con los contenidos de las semillas de soja (SOJ), colza (COL), girasol (GIR) y lino (LIN) según FEDNA (2019).

Torta de camelina

Los contenidos de azufre, fósforo, magnesio y hierro de la torta de camelina fueron inferiores ($P < 0,05$) a los valores medios de la bibliografía, los de potasio tendieron a ser menores ($P < 0,10$), y los de manganeso y zinc fueron mayores ($P < 0,05$) y tendieron a serlo ($P < 0,10$), respectivamente (**Tabla 12**). Las diferencias podrían atribuirse a los mismos motivos indicados en el caso de la semilla: variedad de las semillas de origen y condiciones de cultivo de las mismas.

Los contenidos de fósforo y magnesio fueron muy inferiores a los de las tortas de colza y girasol, mientras que los contenidos de calcio y potasio estuvieron claramente por debajo de los de las tortas de colza y girasol, respectivamente (**Figura 11**). El contenido de azufre fue próximo al de la torta de colza y superior al de la torta de girasol.

Tabla 12. Contenido de minerales (sobre materia seca) de la torta de camelina.

Minerales	Este trabajo		Bibliografía ¹ mín – máx	n
	$\bar{x} \pm \sigma$	$\bar{x} \pm \sigma$		
Macrominerales, %				
Azufre	0,69 ± 0,011*	0,94 ± 0,206	0,68 – 1,12	4
Calcio	0,30 ± 0,002	0,30 ± 0,074	0,23 – 0,47	9
Fósforo	0,62 ± 0,005*	0,89 ± 0,077	0,80 – 1,00	10
Magnesio	0,30 ± 0,004*	0,47 ± 0,042	0,41 – 0,50	4
Potasio	1,3 ± 0,03 [†]	1,4 ± 0,10	1,25 – 1,50	4
Sodio	0,01 ± 0,005	0,01 ± 0,007	0,003 – 0,02	3
Oligoelementos, ppm				
Boro	14 ± 0,3	-	-	
Cobalto	0,1 ± 0,01	-	-	-
Cobre	6,4 ± 0,23	7,4 ± 0,38	7,1 – 7,7	2
Cromo	2,9 ± 2,17	-	-	-
Hierro	94 ± 10,3 [†]	149 ± 17,7	136 – 161	2
Litio	0,20 ± 0,026	-	-	-
Manganeso	40 ± 0,9*	26 ± 2,1	25 – 28	2
Molibdeno	0,5 ± 0,05	-	-	-
Níquel	1,5 ± 0,21	-	-	-
Rubidio	5,2 ± 0,07	-	-	-
Zinc	59 ± 0,8 [†]	52 ± 4,6	49 – 56	2

¹Cherian et al. (2009), Frame et al. (2007), Kahindi et al. (2014), Kim et al. (2017), Lawrence et al. (2016), Lawrence et al. (2018), Pekel et al. (2015), Smit y Beltranena (2017) y Thacker y Widyaratne (2012). *Valor diferente ($P < 0,05$) a la bibliografía.

[†]Valor que tendió a ser diferente ($P < 0,10$) de la bibliografía.

Asumiendo un contenido de ácido fítico de 23 g/kg (Matthäus, 1997; Matthäus y Zubr, 2000) y un contenido medio de fósforo de 0,81%, puede calcularse que la proporción de fósforo ligado a inositol sería el 80% del fósforo total, un valor superior al de la cascarilla de soja (INRA, 2002).

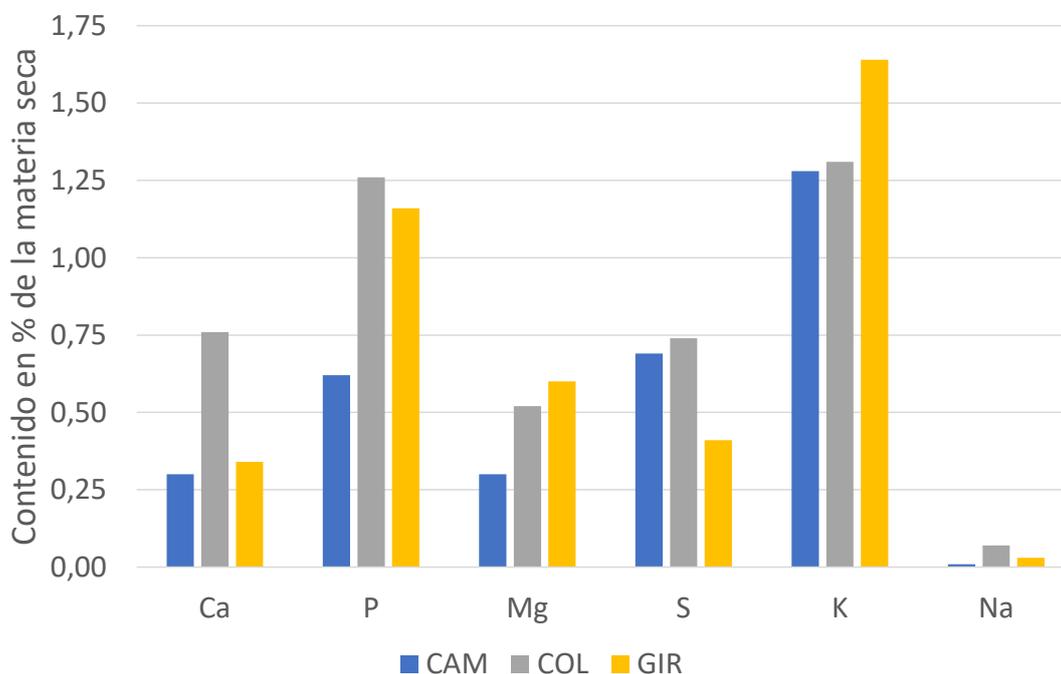


Figura 11. Contenidos de macrominerales en la torta de camelina (CAM) hallados en el presente trabajo en comparación con los contenidos de tortas de colza 12,7 (COL) y girasol 9,0 (GIR) según FEDNA (2019).

Los contenidos de zinc y, sobre todo, de hierro de la torta de camelina estuvieron por debajo de los contenidos de las tortas de colza y girasol (**Figura 12**). El contenido de cobre fue similar al de la torta de colza, ambos muy inferiores al de la torta de girasol. El contenido de manganeso fue superior al de la torta de girasol, pero menor que el de la torta de colza. En conjunto, parece que la torta de camelina no destaca en los aportes minerales por encima de la torta de colza y solo en el caso del potasio y el manganeso es superior a la torta de girasol.

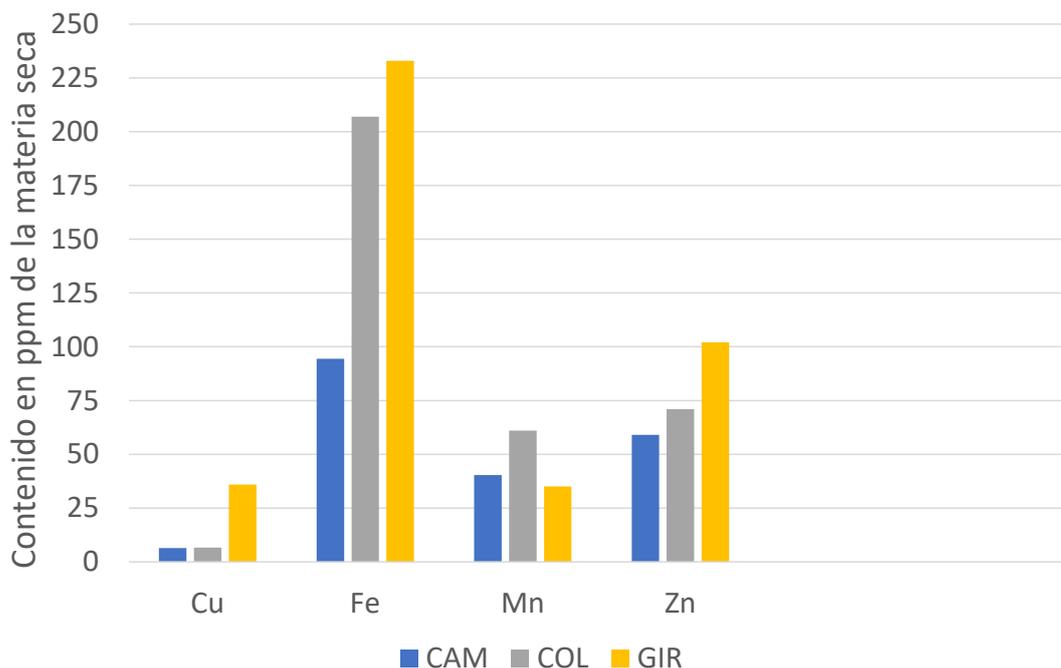


Figura 12. Contenidos de algunos oligoelementos en la torta de camelina (CAM) hallados en el presente trabajo en comparación con los contenidos de tortas de colza 12,7 (COL) y girasol 9,0 (GIR) según FEDNA (2019).

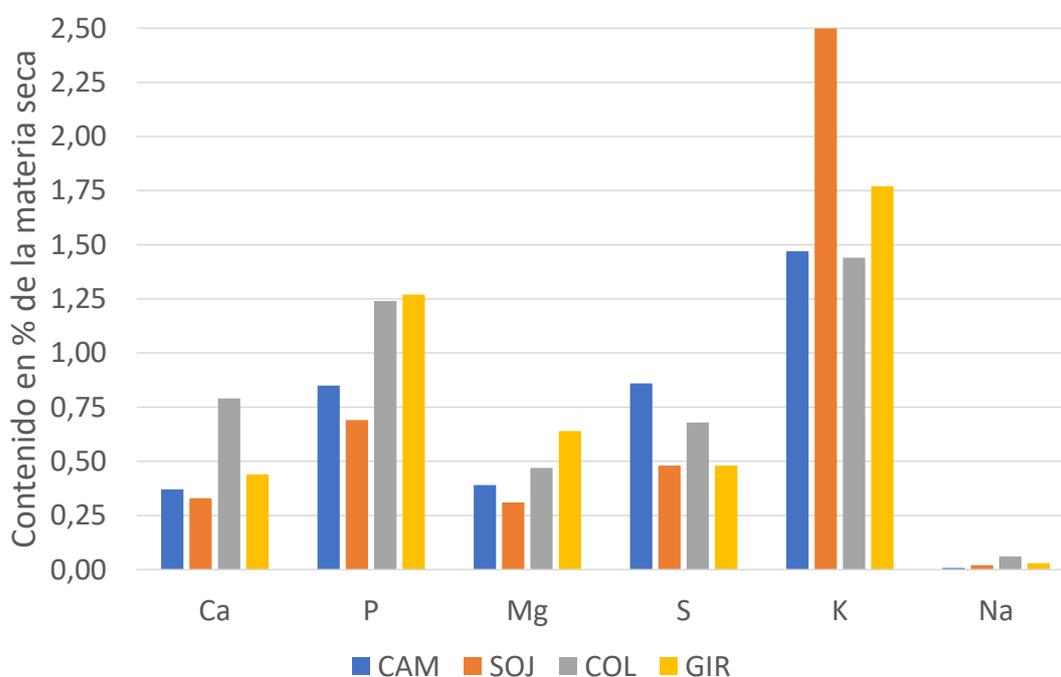


Figura 13. Contenidos de macrominerales en la harina de camelina (CAM) hallados en el presente trabajo en comparación con los contenidos de las harinas de soja 44 (SOJ), colza 36 (COL) y girasol 36 (GIR) según FEDNA (2019).

Harina de camelina

Los contenidos de los minerales identificados en la harina de camelina se muestran en la **Tabla 13**. Estos contenidos no han podido ser comparados con la bibliografía por falta de referencias que los detallen. En comparación con otras harinas de oleaginosas, la harina de camelina destacó por su contenido de azufre (**Figura 13**). Los contenidos de calcio, fósforo y magnesio fueron superiores a los de harina de soja, pero inferiores a los de las harinas de colza y girasol. El contenido de potasio fue muy inferior al de la harina de soja y similar al de la harina de colza.

Tabla 13. Contenidos de minerales (sobre materia seca) en la harina y la cascarilla de camelina (media \pm desviación típica).

Minerales	Harina	Cascarilla
Macrominerales, %		
Azufre	0,64 \pm 0,306	0,45 \pm 0,025
Calcio	0,37 \pm 0,031	0,86 \pm 0,088
Fósforo	0,85 \pm 0,006	0,31 \pm 0,018
Magnesio	0,39 \pm 0,009	0,19 \pm 0,010
Potasio	1,5 \pm 0,04	1,7 \pm 0,08
Sodio	0,01 \pm 0,003	0,01 \pm 0,001
Oligoelementos, ppm		
Boro	17 \pm 0,5	15 \pm 1,3
Cobalto	0,18 \pm 0,023	0,05 \pm 0,005
Cobre	7,2 \pm 0,14	5,0 \pm 0,35
Cromo	1,0 \pm 0,03	3,8 \pm 1,05
Hierro	131 \pm 21,4	117 \pm 23,0
Litio	0,32 \pm 0,040	0,45 \pm 0,012
Manganeso	54 \pm 2,0	26 \pm 1,9
Molibdeno	0,63 \pm 0,007	0,60 \pm 0,057
Níquel	3,3 \pm 0,06	1,7 \pm 0,23
Rubidio	7,4 \pm 0,02	2,5 \pm 0,28
Vanadio	-	0,10 \pm 0,064
Zinc	64 \pm 1,3	28 \pm 2,1

Los contenidos de oligoelementos de la harina de camelina en comparación con los de las harinas de colza y girasol siguieron el mismo patrón observado en el caso de la torta de camelina (**Figura 14**). El contenido de manganeso y zinc fue superior al de la harina de soja, pero el contenido de hierro fue algo inferior.

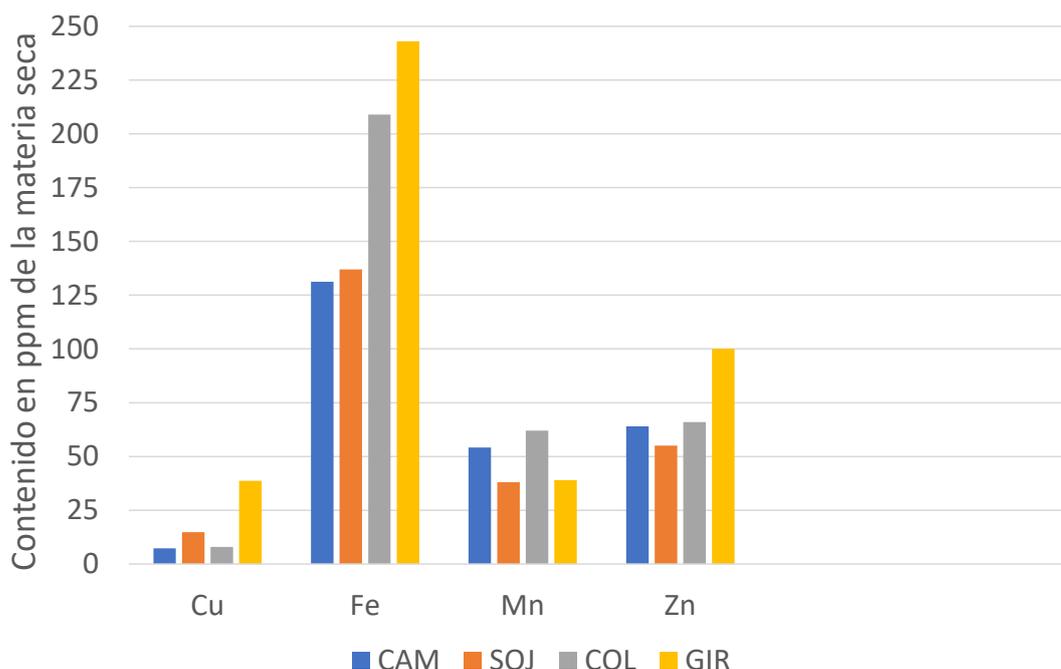


Figura 14. Contenidos de algunos oligoelementos en la harina de camelina (CAM) hallados en el presente trabajo en comparación con los contenidos de las harinas de soja 44 (SOJ), colza 36 (COL) y girasol 36 (GIR) según FEDNA (2019).

Cascarilla de camelina

Los contenidos de minerales de la cascarilla de camelina se muestran en la **Tabla 13**. Estos contenidos no han podido ser comparados con la bibliografía por falta de referencias que los detallen. La cascarilla de camelina destacó por sus contenidos de calcio, azufre y potasio frente a las cascarillas de soja y girasol, mientras que los contenidos de fósforo y magnesio fueron inferiores (**Figura 15**).

Los contenidos de cobre, manganeso, zinc y, sobre todo, hierro fueron menores en la cascarilla de camelina que en las cascarillas de soja y girasol (**Figura 16**).

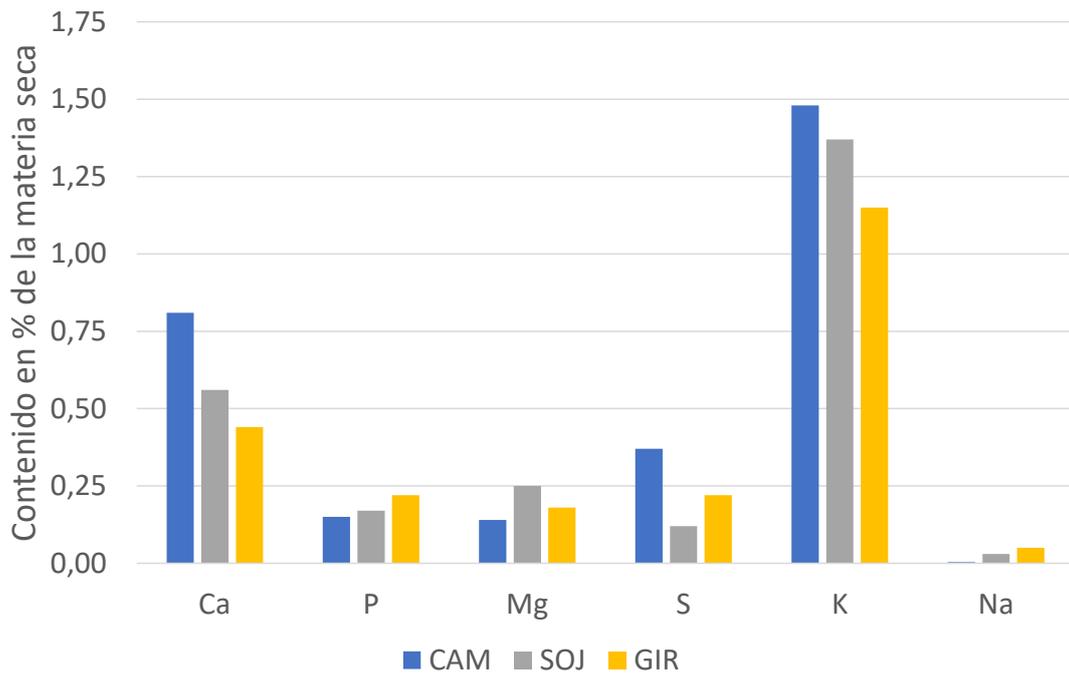


Figura 15. Contenidos de macrominerales en la cascarilla de camelina (CAM) hallados en el presente trabajo en comparación con los contenidos de las cascarillas de soja (SOJ) y girasol (GIR) según FEDNA (2019).

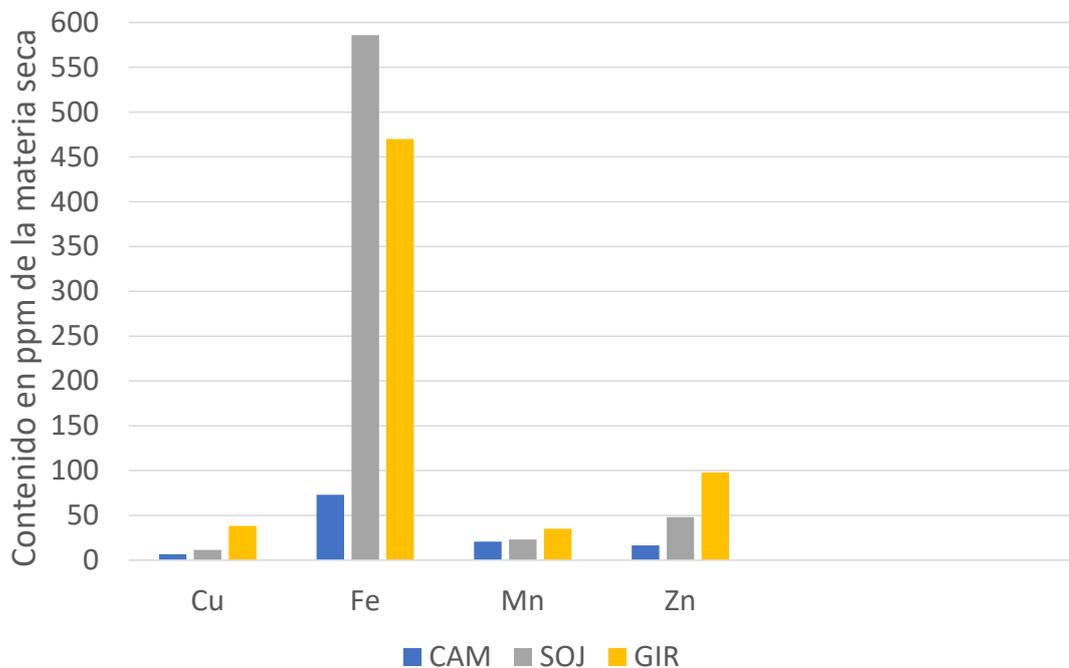


Figura 16. Contenidos de algunos oligoelementos en la cascarilla de camelina (CAM) hallados en el presente trabajo en comparación con los contenidos de las cascarillas de soja (SOJ) y girasol (GIR) según FEDNA (2019).

Otros minerales

En las muestras analizadas se identificaron diversos minerales cuya toxicidad es bien conocida en Alimentación Animal, como aluminio, cadmio y plomo (NRC, 2005; Suttle, 2010), y otros sobre los que existe muy poca información, como berilio, talio y titanio (Gehring y Hammond, 1967; Schroeder y Mitchener, 1975) (**Tabla 14**).

El contenido de aluminio fue superior en todos los productos analizados a los valores reportados por Cherian et al. (2009) y Frame et al. (2007) en torta de camelina (2 y 11 ppm, respectivamente). Tanto los contenidos de aluminio como de estroncio fueron muy inferiores a los límites máximos tolerables de 1000 y 2000 ppm, respectivamente, en el alimento de los animales domésticos (NRC, 2005).

Los contenidos de cadmio en la torta y la harina fueron menores que el observado por Matthäus y Zubr (2000) en semilla de camelina. Estos autores observaron una gran variabilidad en los valores en función del origen geográfico de las semillas analizadas, lo que sugiere una fuerte influencia de las condiciones de cultivo. Por otra parte, los niveles de arsénico, cadmio y plomo encontrados estuvieron muy por debajo de los límites máximos establecidos por la normativa de la Unión Europea en materias primas para piensos (2, 1 y 10 ppm, respectivamente) (UE, 2013; UE, 2015).

El contenido observado de titanio fue relativamente elevado (LaCoste et al., 2001), pero no se ha fijado un nivel máximo tolerable en alimentación animal (NRC, 2005).

No hemos encontrado información sobre los límites máximos tolerables para el berilio y el talio. Schroeder y Mitchener (1975) observaron que 5 ppm de berilio en el agua de bebida tenían efectos inapreciables en ratas. Una dosis única de talio mayor de 20 ppm en el alimento es letal para ratas, perros y cobayas (Downs et al., 1960). Las plantas de la familia *Brassicaceae* se consideran taliofilas (Kazantzis, 2000).

Tabla 14. Contenidos de otros minerales (% sobre materia seca) en la semilla y los subproductos de camelina (media \pm desviación típica).

Minerales	Semilla	Torta	Harina	Cascarilla
Aluminio	119 \pm 13,7	13 \pm 3,6	51 \pm 14,3	181 \pm 26
Arsénico	-	0,07 \pm 0,018	-	-
Berilio	-	0,05 \pm 0,029	0,02 \pm 0,006	-
Cadmio	-	0,06 \pm 0,007	0,09 \pm 0,006	0,13 \pm 0,008
Estroncio	14 \pm 1,2	19 \pm 0,5	24 \pm 0,9	42 \pm 3,2
Plomo	0,21 \pm 0,057	0,14 \pm 0,006	0,26 \pm 0,052	0,39 \pm 0,024
Talio	13 \pm 5,6	5,7 \pm 0,21	8,3 \pm 0,49	2,3 \pm 1,2
Titanio	3,8 \pm 0,21	0,55 \pm 0,001	1,6 \pm 0,15	4,7 \pm 0,62

Contenido de glucosinolatos

Los contenidos de glucosinolatos en la semilla y los subproductos de camelina hallados en el presente trabajo se muestran (**Tabla 15**). Cabe destacar que no hemos encontrado trabajos publicados que reporten el contenido de glucosinolatos en la cascarilla de camelina.

El contenido de glucosinolatos de la semilla fue muy inferior al observado en trabajos previos, de los que puede extraerse un valor promedio de 25,2 $\mu\text{mol/g}$ y un rango de entre 13,2 y 36,2 $\mu\text{mol/g}$ (Almeida et al., 2013; Colombini et al., 2014; Košir et al., 2013; Matthäus, 1997; Schuster y Friedt, 1998). Por otro lado, la glucocamelinina representó el 58% de los glucosinolatos totales, en línea los valores de otros autores (Almeida et al., 2013; Košir et al., 2013; Schuster y Friedt, 1998).

El contenido de glucosinolatos de la torta fue casi la tercera parte del valor promedio 29,7 $\mu\text{mol/g}$ que puede extraerse de la bibliografía (Almeida et al., 2013; Aziza et al., 2010; Bohme et al., 1997; Matthäus y Zubr, 2000; Kahindi et al., 2014; Kim et al., 2017; Pekel et al., 2009; Pekel et al., 2015; Ryhanen et al., 2007; Smit y Beltranena, 2017;

Thacker y Widyaratne, 2012). La glucocamelinina alcanzó un porcentaje del 68%, siendo superior al promedio del 58% encontrado por Almeida et al. (2013) en tres muestras de diferentes orígenes.

El contenido de glucosinolatos de la harina fue casi la mitad del promedio 24,0 $\mu\text{mol/g}$ de los trabajos de Colombini et al. (2014), Russo y Reggiani (2012) y Russo y Reggiani (2017).

Los contenidos de glucosinolatos en todos los productos estudiados fueron inferiores al valor máximo establecido en alimentos para animales (30 $\mu\text{mol/g}$) por la normativa de la Unión Europea (UE, 2013) y no se alejaron mucho de los contenidos característicos de las variedades de colza doble cero, en las que no se superan los 10 $\mu\text{mol/g}$ (Adewole et al., 2016; Mailer et al., 2008; Mejicanos et al., 2016).

Tabla 15. Contenidos de glucosinolatos ($\mu\text{mol/g}$; media \pm desviación típica) en la semilla de camelina y sus subproductos.

Glucosinolato (GS)	Semilla	Torta	Harina	Cascarilla
9-metil-sulfonil-nonil-GS (glucoarabina)	3,49 \pm 0,732	3,44 \pm 0,359	2,62 \pm 0,360	1,36 \pm 0,141
10-metil-sulfonil-decil-GS (glucocamelinina)	4,85 \pm 0,647	7,27 \pm 0,797	7,92 \pm 1,828	2,15 \pm 0,077
11-metil-sulfonil-undecil-GS	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas
Total	8,35 \pm 0,962	10,71 \pm 2,708	10,55 \pm 3,748	3,51 \pm 0,559

Trazas: contenido inferior a 0,05 $\mu\text{mol/g}$.

Estimación del valor energético de los productos de camelina para bovinos de engorde a partir de la composición química

Primero se elaboró una ecuación de regresión para predecir el contenido de energía digestible (ED) a partir de los datos de INRA (2007) para materias primas no forrajeras (n = 104) siguiendo el procedimiento descrito en el trabajo de Owens et al. (2010). La ecuación obtenida fue: $ED \text{ (Mcal/kg materia seca)} = [0,953 \times \text{carbohidratos no fibrosos} + 0,435 \times \text{fibra neutro detergente}] \times 0,042 + 0,913 \times \text{grasa bruta} \times 0,094 + 0,901 \times \text{proteína bruta} \times 0,056$ (valores en porcentaje de la materia seca); $R^2 = 0,63$. Los valores de composición química aplicados en dicha ecuación fueron los recogidos en las **Tablas 1 a 4**. En dicha ecuación, los coeficientes 0,042, 0,094 y 0,056 son los contenidos de energía bruta de los carbohidratos, la grasa y la proteína de acuerdo con NRC (2001), y los coeficientes 0,953, 0,435, 0,913 y 0,901 representan la digestibilidad total aparente de los carbohidratos no fibrosos, la fibra neutro detergente, la grasa y la proteína, respectivamente. Estos coeficientes de digestibilidad son coherentes con los resultados de Owens et al. (2010). Luego se derivaron los contenidos de energía metabolizable a partir de la energía digestible y, finalmente, se calcularon los contenidos de energía neta para mantenimiento y energía neta para engorde a partir de la energía metabolizable (Galyean et al., 2016) (**Tabla 16**).

Tabla 16. Valor energético calculado de la semilla y los subproductos de camelina para bovinos de carne.

Parámetro	Semilla	Torta	Harina	Cascarilla
Energía digestible, Mcal/kg MS	4,83	3,82	3,33	3,16
Energía metabolizable, Mcal/kg MS	4,34	3,37	2,90	2,74
Energía neta para mantenimiento, Mcal/kg MS	2,79	2,14	1,80	1,69
Energía neta para engorde, Mcal/kg MS	2,00	1,46	1,18	1,07

MS: materia seca.

Comparando los valores calculados de energía neta para engorde con los reportados por FEDNA (2019), la semilla de camelina fue inferior a las semillas de colza, girasol y lino, y similar a la semilla de soja (**Figura 17**), la torta de camelina se situó entre las tortas de colza y girasol (**Figura 18**), la harina de camelina fue inferior, similar y superior a las harinas de soja, colza y girasol, respectivamente (**Figura 19**), y la cascarilla de camelina fue prácticamente igual a la cascarilla de soja, pero muy superior a la cascarilla de girasol (**Figura 20**). La similitud del valor energético de las cascarillas de camelina y soja, a pesar del menor contenido calculado de fibra neutro detergente digestible de la primera como se ha mencionado más arriba, se explicaría por el elevado contenido de grasa en las muestras utilizadas en el presente trabajo debido a la apreciable presencia de semillas (**Tabla 4**).

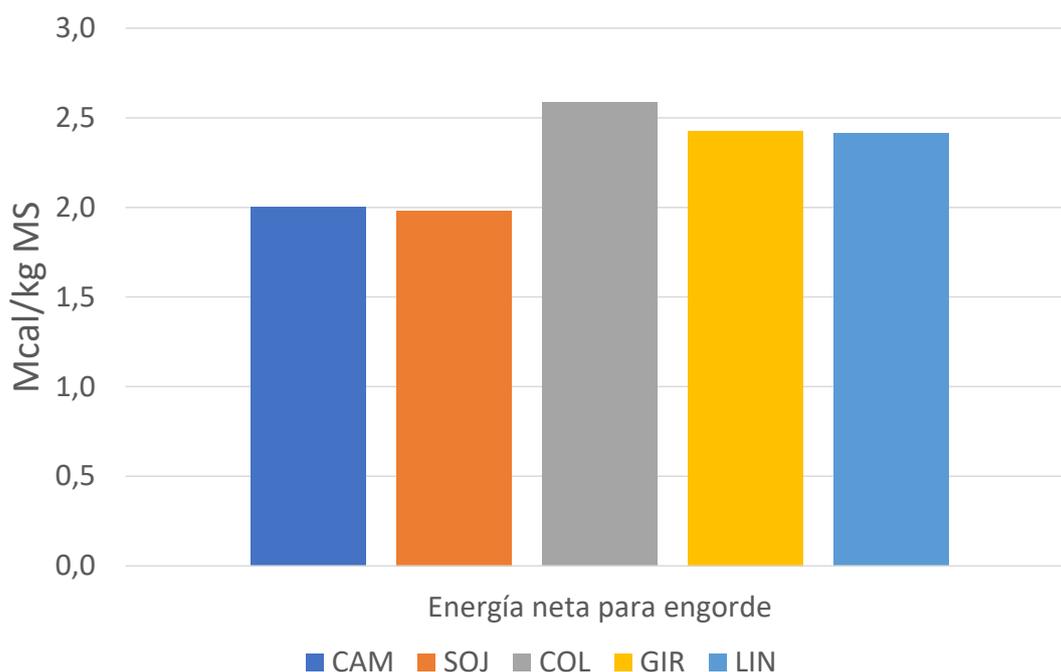


Figura 17. Energía neta para engorde de la semilla de camelina (CAM) calculada con los resultados del presente trabajo en comparación con los contenidos de las semillas de soja (SOJ), colza (COL), girasol (GIR) y lino (LIN) según FEDNA (2019).

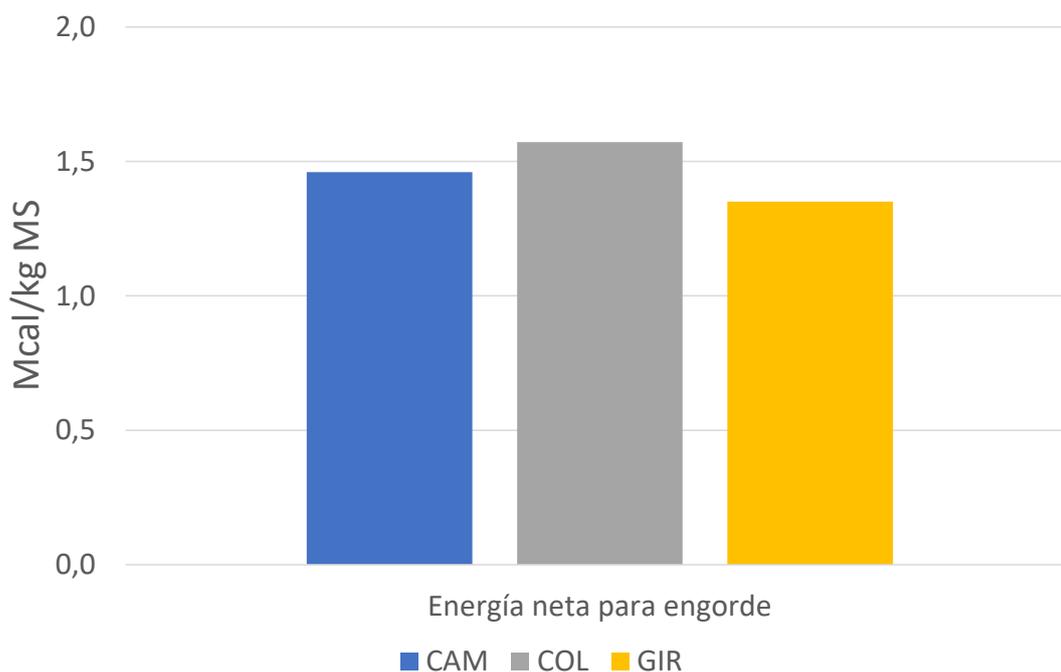


Figura 18. Energía neta para engorde de la torta de camelina (CAM) calculada con los resultados del presente trabajo en comparación con los contenidos de las tortas de colza 12,7 (COL) y girasol 9,0 (GIR) según FEDNA (2019).

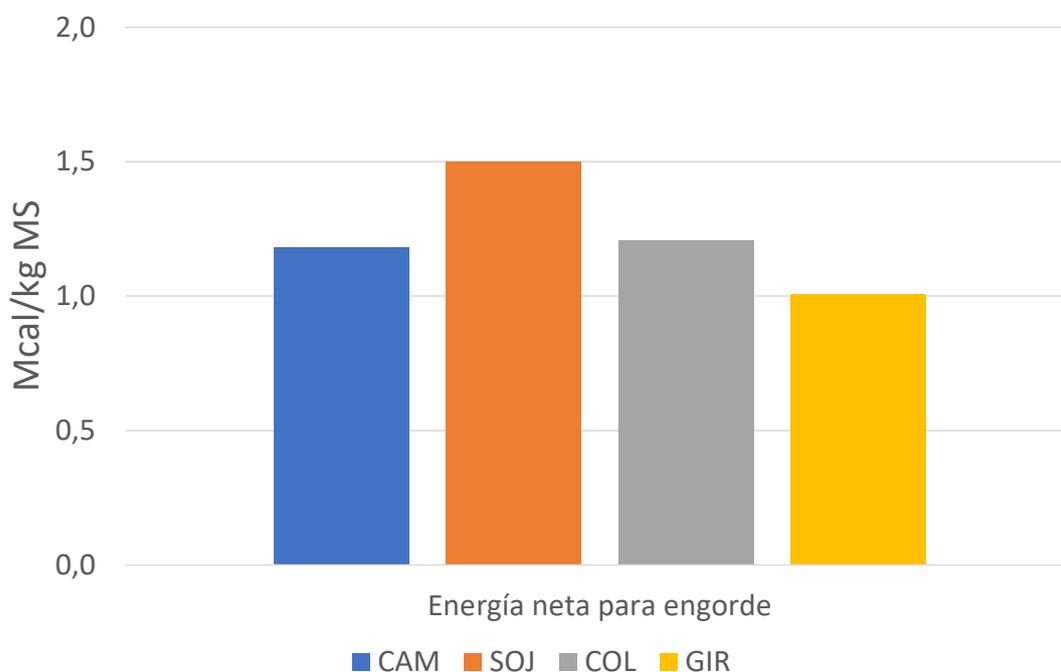


Figura 19. Energía neta para engorde de la harina de camelina (CAM) calculada con los resultados del presente trabajo en comparación con los contenidos de las harinas de soja 44 (SOJ), colza 36 (COL) y girasol 36 (GIR) según FEDNA (2019).

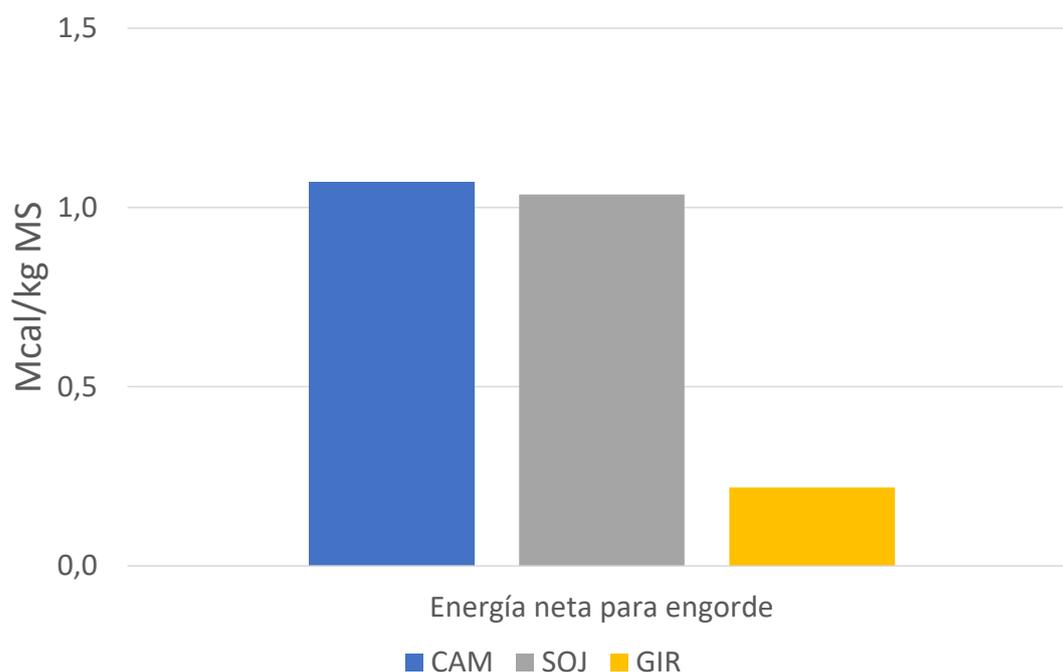


Figura 20. Energía neta para engorde de la cascarilla de camelina (CAM) calculada con los resultados del presente trabajo en comparación con los contenidos de las cascarillas de soja (SOJ) y girasol (GIR) según FEDNA (2019).

Conclusiones

Los valores de composición química y nutricional de la semilla y los subproductos de camelina, obtenidos en condiciones españolas que se han encontrado en el presente trabajo contribuyen a una mejor caracterización de estos productos, en especial la semilla, la harina y la cascarilla, sobre los que la información publicada es bastante limitada a nivel mundial. Se observaron algunas diferencias entre nuestros resultados y los valores medios de trabajos previamente publicados, lo que sugiere que los factores relacionados con el cultivo de la semilla y el posterior procesado tienen una fuerte influencia sobre la composición química de estos productos. La fibra neutro detergente mostró un grado de lignificación relativamente bajo, lo que apunta a una digestibilidad alta de los productos de camelina. La proteína bruta destacó por su contenido en leucina y ácido glutámico y se encontró que su proporción en la materia

seca sirve para predecir con precisión los contenidos de casi todos los aminoácidos en la materia seca de la torta. Los contenidos de minerales hallados no destacaron sobre los de otras materias primas similares. Los contenidos de glucosinolatos fueron inferiores a los reportados por otros autores y próximos a los de la harina de colza doble cero. Las características químicas y nutricionales y el valor energético de la semilla y los subproductos de camelina los convierten en materias primas potencialmente útiles para reemplazar a los productos análogos de la soja en la alimentación de los rumiantes.

CAPITULO II

DIGESTIBILIDAD Y DEGRADABILIDAD RUMINAL DE LOS PRODUCTOS DE CAMELINA. DIGESTIBILIDAD, RETENCIÓN DE NITRÓGENO Y METABOLISMO RUMINAL DE UN PIENSO RICO EN SUBPRODUCTOS AGROINDUSTRIALES

Resumen

El uso de nuevas materias primas y piensos de composición alternativa en la alimentación de rumiantes requiere conocer previamente su comportamiento digestivo para una utilización adecuada. En el presente Capítulo, se emplearon corderos para estudiar la digestibilidad total aparente y la degradabilidad ruminal *in situ* de los productos de camelina, así como la digestibilidad total aparente, la retención aparente de nitrógeno y el metabolismo ruminal *in situ* de un pienso rico en subproductos agroindustriales. La torta de camelina mostró una digestibilidad de la materia seca elevada y equiparable a los valores de otras tortas proteicas en la literatura, pero la cascarilla tuvo una digestibilidad inferior a la asignada a la cascarilla de soja. La degradabilidad ruminal efectiva de la materia seca de la semilla y la cascarilla fue inferior a la reportada para los mismos productos de soja, mientras que la degradabilidad ruminal efectiva de la proteína bruta de la torta y la harina fue comparable a la de la harina de soja. Un pienso convencional en el que parte de la harina de soja se reemplazó por harina de camelina no afectó a la digestibilidad de la materia seca del pienso ni a la digestibilidad y retención corporal de nitrógeno de la ración. Sin embargo, el consumo de un pienso en el que los cereales y la harina de soja fueron sustituidos por una variedad de materias primas, principalmente subproductos agroindustriales ricos en fibra, redujo la digestibilidad de la materia seca del pienso, así como la digestibilidad de la materia seca y la proteína de la ración, en comparación con un pienso convencional. No obstante, dicho pienso resultó en menor variación del pH ruminal y producción de ácido láctico, sin efectos adversos sobre otros parámetros del metabolismo ruminal. En conclusión, los subproductos de camelina tienen un aprovechamiento digestivo que los hacen útiles para sustituir a las materias primas convencionales análogas en las raciones de los rumiantes. Un pienso rico en subproductos agroindustriales puede ser una alternativa a los piensos tradicionales para el engorde de rumiantes, teniendo presentes sus limitaciones nutritivas.

Introducción

En el centro y sur de España, la única alternativa para la producción de bovinos para carne es la alimentación intensiva, debido a las condiciones climáticas (MAPAMA, 2019a; Terradillos et al., 2004). Los piensos utilizados se componen principalmente de cereales y harina de soja, y se complementan con una baja proporción de paja de cereales (Carrasco et al., 2017; García-Rebollar et al., 2008; Guerrero et al., 2013). Estos piensos compiten con la alimentación humana y de aves y cerdos, no aprovechan la capacidad de los rumiantes para la utilización digestiva de materias primas ricas en fibra y suponen un mayor riesgo para la salud ruminal (McNeill, 2013, Chibisa et al., 2016).

En los últimos años ha aumentado el interés por reemplazar los piensos tradicionales para el engorde de bovinos por otros más ricos en subproductos agroindustriales (Cuvelier et al., 2006, Li et al., 2014; Santos-Silva et al., 2020; Tayengwa et al., 2020). Dicho cambio podría mejorar la sostenibilidad de la producción de carne de rumiantes (Shader et al., 2015).

El uso adecuado de las nuevas materias primas en la alimentación del ganado requiere conocer, no solamente su composición química y nutricional, sino también su aprovechamiento digestivo y metabólico y su metabolismo ruminal (Woods et al., 2003a,b). En todos los esquemas de valoración energética de los alimentos para rumiantes, el primer paso es conocer la digestibilidad total aparente, ya que las pérdidas fecales son las mayores pérdidas de energía de los alimentos consumidos en el cuerpo de los rumiantes (Coleman y Moore, 2003). El estudio del metabolismo ruminal sirve para valorar el aprovechamiento digestivo, en adición a la digestibilidad total, de los alimentos y sus efectos sobre la flora microbiana del rumen y las proporciones de los sustratos disponibles para el organismo (Rodríguez-Hernández y Anderson, 2018).

Se han publicado muy pocos estudios *in vivo* sobre la digestibilidad total (Moloney et al., 1998) y la degradabilidad ruminal de la torta de camelina (Lawrence y Anderson, 2018; Salas et al., 2019), menos aún referidos a la harina de camelina (Salas et al., 2019) y no nos consta de ninguno que haya evaluado la semilla o la cascarilla de camelina. Asimismo, la revisión de la literatura indica que la digestibilidad, la retención de nitrógeno y el metabolismo ruminal de piensos fibrosos para ovinos y bovinos de engorde tampoco han sido extensamente estudiados de manera simultánea (Blanco et al., 2014; Dennis et al., 2018; Joy et al., 2017; Ludden et al., 1995).

Objetivos

Los objetivos del presente capítulo fueron estudiar la digestibilidad total aparente y la degradabilidad ruminal *in situ* de los productos de camelina, así como la digestibilidad total aparente, la retención aparente de nitrógeno y el metabolismo ruminal *in situ* de un pienso rico en subproductos agroindustriales para el cebo de rumiantes.

Materiales y métodos

Todos los procedimientos experimentales del presente estudio cumplieron con la normativa española para el cuidado de animales durante la cría, transporte, sacrificio y experimentación (BOE, 2013) y la directiva de la Unión Europea para experimentos con animales (UE, 2010) y fueron autorizados por el Comité de Bioética de la Universidad de Murcia y las autoridades competentes (nº autorización: A13171003).

Animales, alojamiento y manejo general

Se utilizaron un total de 10 corderos machos enteros, de raza Segureña que fueron adquiridos en una ganadería comercial cuando tenían unos tres meses de edad y 15 kg de peso vivo y se trasladaron a las instalaciones de la Granja Experimental de la Unidad de Nutrición Animal de la Universidad de Murcia. A la llegada, los corderos se desparasitaron (Ivomec Ovino, Boehringer Ingelheim, Sant Cugat del Vallès, España)

y se vacunaron frente septicemia hemorrágica y enterotoxemia (Neobacterina y Syva-Bax, Laboratorios Syva, León, España). Los animales se alimentaron con pienso comercial y paja de cebada hasta llegar a los 35-40 kg de peso vivo, momento en que comenzaron las pruebas de digestibilidad y retención de nitrógeno.

Tres de los corderos utilizados en las pruebas de digestibilidad y retención de nitrógeno (8 meses y 40 kg de peso vivo) fueron intervenidos quirúrgicamente para la inserción de una cánula ruminal (7,5 cm de diámetro central y 3,5 cm de diámetro de cánula, ref. #6C Bar Diamond ® USA) en el saco dorsal de rumen. Para la intervención, los corderos fueron sedados con xilacina vía intramuscular (Xilagesic, Calier, Barcelona, España) y anestesiados localmente con lidocaína subcutánea (Anesvet, Ovejero, León, España) en el área quirúrgica, previamente rasurada y desinfectada. El periodo postoperatorio fue de dos meses, durante los cuales se vigiló la cicatrización de las heridas y se realizaron las curas necesarias. Para evitar el estrés por aislamiento, los corderos se mantuvieron en grupo en un corral de 3 x 1,5 m con cama de paja y provisto de un comedero de tipo tolva para pienso, una forrajera para paja y un bebedero. Durante los dos meses de postoperatorio, los animales se alimentaron con pienso comercial y paja de cereales.

Estudio de la digestibilidad total aparente de la materia seca de la torta y la cascarilla de camelina

Se utilizaron cinco corderos por tratamiento, siendo cada cordero una réplica. Los tratamientos consistieron en tres raciones compuestas de paja de cebada y un concentrado CON, pienso basado en cereales y harina de soja, con características similares a los piensos comerciales para corderos (**Tablas 1 y 2**), suministrado solo o con 20% de torta de camelina (tratamiento TOR) o con 20% de cascarilla de camelina (tratamiento CAS).

Cada prueba tuvo una duración de 20 días y se dividió en dos periodos, de adaptación y de recogida de muestras. En el periodo de adaptación, los corderos se alojaron en grupo en un corral de 3 x 5 m y cama de paja durante 15 días, con el fin de evitar el estrés por aislamiento. Durante este período, se alimentaron con las raciones experimentales *ad libitum* y se estimó el consumo promedio de pienso por animal. En el período de recogida de muestras, de cinco días de duración, los corderos se alojaron individualmente en jaulas de digestibilidad de 1 x 1,2 m, provistas cada una de ellas de un bebedero, un comedero y sendas bandejas para la recogida completa de heces y orina por separado. El pienso se suministró en cantidad correspondiente al consumo promedio registrado en el período de adaptación, para evitar rehusados, y la cantidad de paja ofrecida se ajustó a dicha cantidad para suponer el 15% de la ración. Entonces, se controlaron los consumos individuales de pienso y paja, se recogieron muestras representativas del pienso, los subproductos y la paja, así como muestras compuestas individuales de alícuotas de las heces excretadas por cada cordero (10% del total producido diariamente), que se guardaron refrigeradas en bolsas de plástico con autocierre hasta la determinación del contenido de materia seca.

Las digestibilidades del pienso base y los subproductos se calcularon por diferencia (Silva et al., 1989) y se expresaron como porcentajes. Primero se determinaron las digestibilidades de las tres raciones (control, con torta de camelina y con cascarilla de camelina) y se calcularon las digestibilidades de los correspondientes concentrados por diferencia respecto a la paja de acuerdo con la fórmula de Silva et al. (1989). Para ello, a la paja de cebada se le asignó un valor de digestibilidad de la materia seca del 47%, que es el valor promedio de los trabajos de Ørskov y Grubb (1978) y Silva et al. (1989) con ovinos. Luego, se determinaron las digestibilidades de la torta y la cascarilla de camelina a partir de la diferencia entre la digestibilidad del pienso CON y las de los respectivos concentrados compuestos por el pienso CON y cada uno de ambos subproductos.

Tabla 1. Composición de ingredientes de los piensos experimentales (% sobre peso seco al aire).

Ingredientes	CON	CAM	FIB
Cebada	40,0	40,0	-
Maíz	20,0	20,0	-
Harina de camelina	-	12,0	6,0
Harina de soja 44%	20,0	10,1	-
Trigo	10,0	10,0	-
Salvado de trigo	4,2	2,1	12,0
Cascarilla de soja	-	-	14,0
Gluten feed de maíz	-	-	10,7
Harina zootécnica de maíz	-	-	10,0
Yeros	-	-	10,0
DDGS de maíz	-	-	8,0
Raicilla de cebada	-	-	6,0
Paja tratada con sosa	-	-	5,0
Granilla de uva desengrasada	-	-	5,0
Cascarilla de camelina	-	-	4,8
Salvado de arroz	-	-	2,3
Melaza de caña	-	-	2,0
Carbonato cálcico	2,7	2,7	3,1
Jabón cálcico de palma	2,0	2,0	-
Sal de mina	0,6	0,6	0,6
Corrector vitamínico-mineral ¹	0,5	0,5	0,5

¹Troumix ovino (Trouw Nutrition, Madrid, España) conteniendo por kg: vitamina A, 1500000 UI; vitamina D3, 150000 UI; vitamina E (acetato de todo-rac- α -tocoferilo), 2700 UI; cloruro de colina, 20000 mg, manganeso (sulfato manganeso monohidratado, 6000 mg; zinc (sulfato de zinc monohidratado), 12000 mg; Yoduro de potasio, 200 mg; cobalto (carbonato de cobalto II), 99 mg; selenio (selenito de sodio), 45 mg; hierro (carbonato ferroso), 7000 mg.

Tabla 2. Composición química analizada y valores nutritivos calculados de los piensos experimentales (valores sobre peso seco al aire).

Parámetros	CON	CAM	FIB
Componentes químicos			
Humedad	10,8	10,9	11,6
Cenizas	5,6	6,3	8,1
Proteína bruta	15,7	15,6	15,8
Grasa bruta	4,3	4,1	3,9
Fibra bruta	3,8	5,9	12,9
Fibra neutro detergente	13,4	15,5	30,8
Fibra ácido detergente	4,1	6,3	17,2
Lignina	1,6	1,7	3,9
Almidón	43,3	39,2	20,0
Valores nutritivos			
Energía metabolizable, Mcal/kg	2,72	2,69	2,34
Unidades forrajeras carne¹, kg⁻¹	1,01	0,99	0,79
Proteína digestible en intestino, g/kg	106	106	88
Metabolicidad (Qm)²	0,71	0,70	0,61
Eficiencia de utilización de la energía			
Mantenimiento (km)³	0,67	0,66	0,61
Engorde (kf)⁴	0,54	0,53	0,46
Mantenimiento y engorde (kmf)⁵	0,61	0,61	0,54

Valores nutritivos calculados a partir de INRA (2007). ¹1 UFC = 1820 kcal de energía neta para mantenimiento y engorde. ²Calculada como la relación entre la energía metabolizable y la energía bruta. ³Calculada como $km = 0,284 \times Qm + 0,554$. ⁴Calculada como $kf = 0,780 \times Qm + 0,006$. ⁵Calculada como $kmf = (km \times kf \times NP) / (kf + km \times (NP - 1))$; donde NP es el nivel de producción fijado en 1,5.

Estudio de la degradabilidad *in situ* de la materia seca y la proteína bruta de la semilla y los subproductos de camelina

Se utilizaron tres corderos provistos de cánula ruminal por tratamiento y se realizaron dos repeticiones por cordero (tres réplicas por tratamiento). Los tratamientos

consistieron en la incubación ruminal *in situ* de muestras de semilla, cascarilla, harina y torta de camelina.

Durante el período de adaptación de 14 días, los corderos se alojaron en grupo en un corral de 3 x 1,5 m con cama de paja y provisto de un comedero de tipo tolva para pienso, una forrajera para paja y un bebedero, para evitar el estrés por aislamiento. Durante este período, la ración consistió en paja de cebada y pienso CON (**Tablas 1 y 2**) ofrecidos para consumo *ad libitum* y se estimó el consumo promedio de pienso y paja. Para las pruebas, los corderos se distribuyeron en tres corrales de 1 x 1,5 m con cama de paja y provistos individualmente de un comedero de tipo tolva para pienso, una forrajera para paja y un bebedero. Entonces, la ración se ajustó al 90% del consumo *ad libitum* establecido en la fase de adaptación, para evitar rehusados y mantener la proporción pienso/paja en 85/15, y se procedió a la incubación ruminal de las muestras en dos repeticiones consecutivas.

Las muestras de semilla, cascarilla, harina y torta de camelina fueron molidas a 2 mm de diámetro con un molino de laboratorio (Retsch ZM200, Biometra, Llanera, España). Una cantidad de 1,5 g de cada muestra se metió en bolsas de nylon con un tamaño de poro de 50 micras (Ankom Technology, Macedon, NY, EUA) de 5 x 10 cm. Las bolsas fueron termoselladas (Heat Sealer 1915, Ankom Technology, Macedon, NY, EUA) y se introdujeron en el rumen, junto a bolsas vacías que sirvieron como blancos, a través de la cánula. Los tiempos de incubación fueron 0, 3, 6, 12, 18, 24 y 48 h para la semilla, harina y torta de camelina, mientras que la incubación de la cascarilla se prolongó hasta 72 h. En cada repetición, cada muestra fue incubada por duplicado para cada tiempo en los tres corderos. Transcurridos los tiempos fijados de incubación, las bolsas se extrajeron del rumen y fueron inmediatamente introducidas en una nevera con hielo para su traslado al laboratorio donde se sometieron a tres ciclos consecutivos de lavado (5 min por ciclo) con agua limpia y fría en una lavadora convencional. Después

del lavado, las muestras se desecaron en una estufa de aire forzado a 60 °C, se pesaron y se conservaron en congelación a -20°C para posteriores análisis.

A partir de los valores de materia seca y proteína bruta en las muestras originales y las mismas muestras tras la incubación ruminal a cada uno de los tiempos, se calculó la cinética de degradación ruminal como: $Dg = a + b \times (1 - e^{-ct})$, donde Dg es la degradabilidad (%), a es la fracción degradable a tiempo 0 (%), b es la fracción lentamente degradable (%), c es el ritmo de degradación (h^{-1}) y t es el tiempo (h) (Ørskov y McDonald, 1979). La degradabilidad potencial (Dg Potencial) y la degradabilidad efectiva (Dg Efectiva) de la materia seca se calcularon como: Dg Potencial (%) = $a + b$; y Dg Efectiva (%) = $a + (b \times c) / (c + k)$, donde k es la tasa de paso del alimento por el rumen, establecida en 0,06 %/h de acuerdo con INRA (2007).

Estudio de la digestibilidad total aparente y la retención aparente de nitrógeno de un pienso rico en subproductos agroindustriales

Se utilizaron cinco corderos por tratamiento, siendo cada cordero una réplica. Los tratamientos consistieron en tres raciones compuestas de paja de cebada y uno de tres piensos: pienso CON, con las características mencionadas más arriba, pienso CAM, igual que el anterior pero la harina de camelina reemplazó el equivalente al 50% de la proteína bruta de la harina de soja, y pienso FIB, sin cereales ni harina de soja y rico en subproductos agroindustriales (**Tablas 1 y 2**).

El manejo de los animales fue igual al descrito en el epígrafe correspondiente al estudio de la digestibilidad de los subproductos de camelina. La prueba tuvo una duración de 20 días. En el periodo de adaptación de 15 días, los corderos se mantuvieron en grupo y se alimentaron con las raciones experimentales *ad libitum* para estimar el consumo promedio de pienso por animal. En el período de recogida de muestras, los animales se alojaron individualmente y el pienso se suministró a cada animal en cantidad correspondiente al consumo promedio registrado en el período de adaptación, para

evitar rehusados, y la cantidad de paja ofrecida se ajustó a dicha cantidad para suponer el 15% de la ración. Entonces, se controlaron los consumos individuales de pienso y paja, se tomaron muestras representativas de los piensos y la paja, así como muestras individuales compuestas de alícuotas de las heces (10% del total producido diariamente) y la orina (5% del total recogido diariamente), excretadas por cada cordero, se guardaron para la determinación posterior del contenido de materia seca y proteína bruta. Las muestras de alimentos y heces se guardaron en bolsas de plástico con autocierre. Las muestras de orina se recogieron en recipientes que contenían 100 ml de solución de ácido sulfúrico al 10% para evitar las pérdidas de compuestos nitrogenados volátiles. Todas las muestras se conservaron refrigeradas hasta su análisis.

Las digestibilidades de los piensos se calcularon por diferencia (Silva et al., 1989) y se expresaron como porcentajes. Primero se determinó la digestibilidad de las raciones compuestas por los tres piensos y la paja de cebada. Luego, se calculó la digestibilidad de los piensos por diferencia respecto a la paja de acuerdo con la fórmula de Silva et al. (1989), asumiendo un valor de digestibilidad de la materia seca de la paja de cebada del 47% (Ørskov y Grubb, 1978; Silva et al., 1989).

La retención aparente de nitrógeno se calculó como la proporción, expresada en porcentaje, entre el valor de la proteína bruta consumida menos la suma de la proteína bruta excretada en heces y orina, y el valor de la proteína bruta consumida.

[Estudio del metabolismo ruminal de un pienso rico en subproductos agroindustriales](#)

Se utilizaron tres corderos provistos de cánula ruminal por tratamiento y se realizaron dos repeticiones por cordero (tres réplicas por tratamiento). Los tratamientos consistieron en raciones con paja de cebada y uno de dos piensos, CON o FIB (**Tablas 1 y 2**).

El manejo de los animales fue igual al descrito en el epígrafe correspondiente al estudio de la degradabilidad ruminal de los productos de camelina. Durante el período de adaptación de 14 días, los corderos se alojaron en grupo en un corral de 3 x 1,5 m con cama de paja y provisto de un comedero de tipo tolva para pienso, una forrajera para paja y un bebedero, para evitar el estrés por aislamiento. Durante este período, se suministraron las raciones experimentales *ad libitum* y se estimó el consumo promedio de pienso y paja. Para las pruebas, los corderos se distribuyeron en tres corrales de 1 x 1,5 m y recibieron raciones equivalentes al 90% del consumo *ad libitum*, establecido en la fase de adaptación, para evitar rehusados y mantener la proporción pienso/paja en 85/15. Entonces, se procedió durante dos días consecutivos a la recogida de muestras individuales de líquido ruminal a través de las cánulas a las 0, 2, 4 y 8 h después de la primera comida. Inmediatamente tras la recogida se midió el pH de las muestras y, a continuación, se filtraron por cuatro capas de gasa. El filtrado fue centrifugado y se tomaron muestras del sobrenadante para el posterior análisis de nitrógeno amoniacal, ácido láctico y ácidos grasos volátiles (estas muestras fueron acidificadas con ácido sulfúrico para su conservación), que se conservaron congeladas a -20 °C.

Análisis químicos

Los contenidos de materia seca, cenizas, proteína bruta, fibra bruta, y grasa bruta se determinaron según AOAC (2006). Los contenidos de fibra neutro detergente, fibra ácido detergente y lignina se determinaron de acuerdo con Van Soest et al. (1991). El almidón se determinó según el procedimiento de ISO (2000).

Los contenidos de los ácidos grasos volátiles (acético, propiónico, butírico, isobutírico, valérico e isovalérico) en el líquido ruminal se determinaron por cromatografía gaseosa (Madrid et al., 1999a), mientras que los contenidos de ácido láctico y nitrógeno

amoniaco se determinaron por métodos espectrofotométricos según indican Madrid et al. (1999b) y Chaney y Marbach (1962), respectivamente.

Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se realizaron con el programa SAS University Edition 3.8 (SAS Institute, Cary, NC, USA). Los datos de digestibilidad y retención de nitrógeno se analizaron con el procedimiento MIXED. El modelo estadístico incluyó el tratamiento como efecto fijo y la réplica anidada dentro de tratamiento como efecto aleatorio. Cuando el modelo fue significativo, la comparación de medias se hizo con la prueba de Tukey. Los datos de degradabilidad ruminal *in situ* de los productos de camelina se analizaron con el procedimiento GLM. El modelo estadístico incluyó el tratamiento como efecto fijo y, cuando este fue significativo, la comparación de medias se hizo con la prueba de Tukey. Los datos de degradabilidad ruminal *in situ* de los piensos se analizaron con un modelo de medidas repetidas mediante el procedimiento MIXED. Se asumió que la estructura de la varianza fue de simetría compuesta. El modelo estadístico incluyó los efectos fijos del tratamiento, el tiempo y su interacción, el efecto repetido fue el tiempo, y el sujeto de las medidas repetidas fue el animal anidado dentro de tratamiento. Cuando los efectos fijos fueron significativos, las diferencias entre las medias de mínimos cuadrados se establecieron mediante una prueba t por parejas. En todos los análisis, la significación estadística se estableció en $P < 0,05$, mientras que P entre 0,05 y 0,10 se consideró tendencia a significación.

Resultados y discusión

Digestibilidad total aparente de la harina y la cascarilla de camelina

Las digestibilidades totales aparentes de la torta y la cascarilla de camelina, calculadas por diferencia, se muestran en la **Tabla 3**. Es destacable que los tratamientos TOR y CAS, en los que se introdujo el 20% de cada uno de los subproductos en sustitución de la misma cantidad de pienso control, tuvieron menor consumo de concentrado y

mayor consumo de paja de cebada ($P < 0,05$), de forma que no hubo diferencias ($P > 0,05$) en la cantidad total de ración consumida. Estas diferencias podrían indicar que el tiempo de adaptación de los corderos a la presencia de los subproductos en la ración (20 días) no fue suficiente para acostumbrarlos al sabor amargo de los glucosinolatos, lo que no parece probable de acuerdo con el trabajo de Salem et al. (2005). Más probablemente, la forma física de ambos subproductos no era del agrado de los animales (Ross et al., 1961).

Tabla 3. Digestibilidad total aparente de la materia seca de la ración basal y las raciones en las que el 20% del pienso basal (CON) se reemplazó por torta (TOR) o cascarilla (CAS) de camelina, así como digestibilidad de los concentrados correspondientes y los subproductos por diferencia.

Parámetros	Tratamientos ¹			EEM	P
	CON	TOR	CAS		
Consumo de materia seca, g/d					
Ración	1069	1003	1007	18,8	0,21
Paja de cebada	113 ^b	242 ^a	245 ^a	17,9	<0,001
Pienso	957 ^a	764 ^b	758 ^b	27,3	<0,001
Producción de materia seca fecal, g/d					
Ración	279	326	281	10,1	0,09
Paja de cebada	60 ^b	129 ^a	130 ^a	9,5	<0,001
Pienso	219 ^a	152 ^b	197 ^{ab}	10,1	<0,05
Digestibilidad de la materia seca, %					
Ración	74,0 ^a	71,8 ^{ab}	67,6 ^b	1,10	<0,05
Pienso (por diferencia) ²	77,4	79,7	74,2	1,12	0,14
Subproducto ³ (por diferencia)	-	88,9 ^a	61,4 ^b	5,63	<0,01

^{a,b,c}Las medias de mínimos cuadrados sin un superíndice común son diferentes por la prueba de Tukey a $P < 0,05$. ¹CON: pienso basado en cereales y harina de soja; TOR: 80% pienso CON y 20% de torta de camelina; CAS: 80% de pienso CON y 20% de cascarilla de camelina. ²La digestibilidad de la materia seca de la paja de cebada se estimó en 47%, a partir de la literatura. ³Torta de camelina en tratamiento TOR y cascarilla de camelina en tratamiento CAS. EEM: error estándar de la media.

La mayor producción de materia seca fecal de la paja y menor de concentrado ($P < 0,05$) reflejó las diferencias mencionadas en el consumo de los dos componentes de la ración. Asimismo, la diferente proporción concentrado/paja en las raciones finalmente consumidas (90/10 en CON y ~75/25 en TOR y CAS) determinó que la digestibilidad de las mismas fuera inferior ($P < 0,05$) en TOR y CAS. No obstante, la digestibilidad de los concentrados, calculada por diferencia respecto a la paja de cebada, no mostró diferencias ($P > 0,05$).

Muy pocos trabajos han investigado la digestibilidad de la semilla de camelina y sus subproductos en rumiantes. Más aún, a nuestro conocimiento, esta es la primera vez que se ha determinado la digestibilidad *in vivo* de la cascarilla de camelina en rumiantes. Como era de esperar por su composición química (detallada en el Capítulo 1), la digestibilidad de la torta de camelina fue muy superior ($P < 0,05$) a la de la cascarilla de camelina. En este sentido, Salas et al. (2017) también reportaron una mayor digestibilidad *in vitro* de la materia seca de la torta de camelina que de la cascarilla de camelina, pero sus valores fueron muy inferiores a los encontrados por nosotros (64,4 y 44,1% para la harina y la cascarilla de camelina, respectivamente). Moloney et al. (1998) hallaron valores de digestibilidad de la materia seca de la torta de camelina de 60 y 69%, *in vitro* e *in vivo*, respectivamente.

Dada la estrecha relación entre la digestibilidad de la materia seca y la materia orgánica en los alimentos comunes para rumiantes (CSIRO, 2007), a partir de los valores determinados de digestibilidad de la materia seca se calculó la digestibilidad de la materia orgánica y el contenido de materia orgánica digestible (**Tabla 4**). Más aún, aplicando los cálculos propuestos por Weisbjerg et al. (2004) pudo calcularse la digestibilidad y los contenidos de solubles neutro detergentes digestibles y fibra neutro detergente digestible, utilizando los valores de composición analítica mostrados en las **Tablas 2 y 4** del Capítulo 1.

Tabla 4. Valores nutritivos calculados a partir de la digestibilidad determinada de la materia seca de la torta y la cascarilla de camelina.

Parámetro	Torta de camelina	Cascarilla de camelina
Digestibilidad de la materia orgánica, %	84,9	57,4
Materia orgánica digestible, % MS	80,5	52,6
Digestibilidad de los solubles neutro detergentes, %	85,8	77,2
Solubles neutro detergentes digestibles, % MS	48,9	30,0
Digestibilidad de la fibra neutro detergente, %	84,1	43,8
Fibra neutro detergente digestible, % MS	31,8	23,7

MS: materia seca.

Los valores de digestibilidad de la materia orgánica sitúan a la torta de camelina por encima de las tortas de colza y girasol, así como a la cascarilla de camelina en una posición intermedia entre las cascarillas de soja y girasol (**Figuras 1 y 2**). El valor de digestibilidad de la fibra neutro detergente de la torta de camelina presentado en la **Tabla 4** es próximo al que puede calcularse (90,2%) a partir del contenido en lignina según Fox et al. (2004); sin embargo, el valor de digestibilidad de la fibra neutro detergente de la cascarilla de camelina de la **Tabla 4** es muy inferior al calculado (79,1%) a partir del contenido en lignina según Fox et al. (2004). Estas discrepancias solamente ponen de manifiesto la dificultad de asignar valores de digestibilidad a la fibra neutro detergente a partir de supuestos generales (Krämer et al., 2012).

Finalmente, se calculó el contenido de energía metabolizable de los subproductos a partir de la digestibilidad de la materia seca de acuerdo con las relaciones propuestas por CSIRO (2007). Así, los contenidos de energía metabolizable de la torta y la cascarilla de camelina serían 3,78 y 2,90 Mcal/kg de materia seca, respectivamente, esto es, 12 y 6% mayores que los calculados a partir de la composición química en el Capítulo 1, lo que apoya la coherencia de los cálculos realizados.

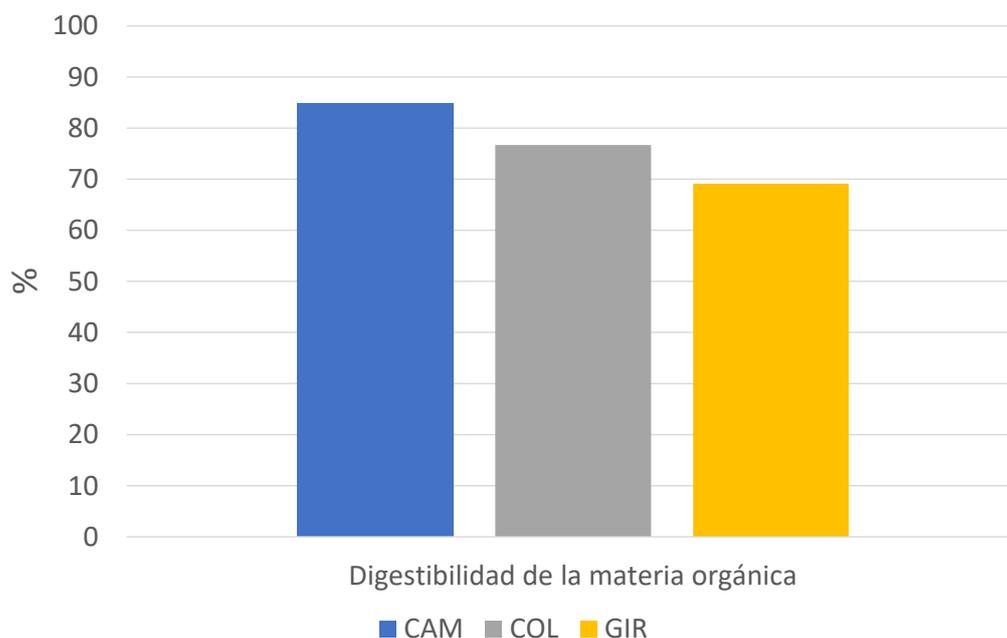


Figura 1. Digestibilidad de la materia orgánica de la torta de camelina (CAM) calculada a partir de los resultados del presente trabajo en comparación con la digestibilidad de la materia orgánica de las tortas de colza 12,7 (COL) y girasol 9 (GIR) según INRA (2018).

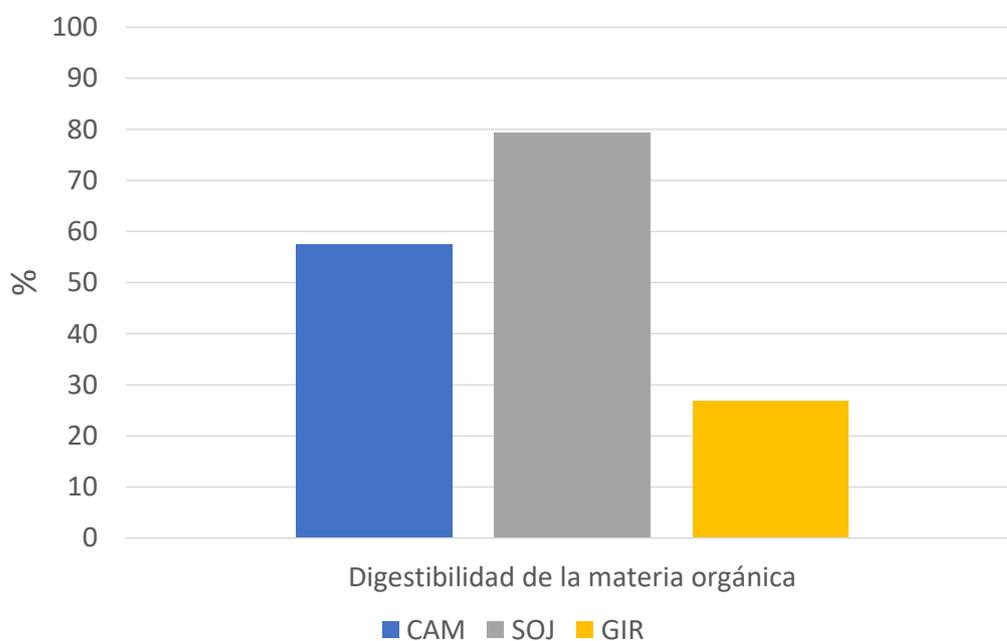


Figura 2. Digestibilidad de la materia orgánica de la cascarilla de camelina (CAM) calculada a partir de los resultados del presente trabajo en comparación con la digestibilidad de la materia orgánica de las cascarillas de soja (SOJ) y girasol (GIR) según INRA (2018).

Degradabilidad *in situ* de la semilla y los subproductos de camelina

Los resultados obtenidos se muestran en la **Tabla 5**. La fracción rápidamente degradable de la materia seca (*a*) fue menor ($P < 0,05$) en la semilla que en la cascarilla, la torta y la harina de camelina, que no fueron diferentes entre si, mientras que la fracción lentamente degradable (*b*) tuvo el menor valor en la cascarilla y el mayor en la semilla, con la torta y la harina en una posición intermedia ($P < 0,05$). El ritmo de degradación (*c*) fue mayor en la cascarilla, seguida por la torta, y menor en la semilla y la harina ($P < 0,05$). Sin embargo, el mayor ritmo de degradación de la cascarilla no pudo compensar su baja degradabilidad potencial y, en consecuencia, su degradabilidad efectiva fue muy inferior ($P < 0,05$) al de los restantes productos, entre los que el mayor valor se encontró en la torta de camelina ($P < 0,05$).

Las diferencias entre la cinética de degradación ruminal de la materia seca de la cascarilla y la de los restantes productos de camelina (**Figura 3**) puede explicarse por la preponderancia de la fibra neutro detergente en su composición. La fibra neutro detergente es la fracción de los alimentos más resistente a la degradación ruminal. De acuerdo con Varga y Hoover (1983), en las materias primas existe una correlación negativa entre la fracción de la fibra neutro detergente degradada *in situ* y el contenido de la misma (aunque no existe ninguna relación entre el ritmo de degradación de la fibra neutro detergente y las características químicas de las materias primas) y la cinética de degradación *in situ* de la materia seca refleja la de la fibra neutro detergente. Batajoo y Shaver (1998) mostraron que la degradabilidad efectiva *in situ* de la materia seca en materias primas no forrajeras se correlaciona positivamente ($r = 0,70$) con la desaparición de la fibra neutro detergente tras 24 h de incubación *in situ*, así como dicha desaparición se correlaciona negativamente ($r = -0,57$) con el contenido de fibra neutro detergente. De modo general, Woods et al. (2003a, 2003b) concluyeron que los parámetros de degradabilidad *in situ* de la materia seca y la proteína bruta no pueden predecirse de forma precisa a partir la composición química.

Tabla 5. Degradabilidad ruminal *in situ* de la materia seca y la proteína de los productos de camelina.

	Semilla	Cascarilla	Torta	Harina	EEM	P
Degradabilidad de la materia seca						
Fracción a, %	10,9 ^b	18,1 ^a	17,8 ^a	19,1 ^a	0,51	<0,05
Fracción b, %	87,2 ^a	20,6 ^c	75,6 ^b	67,2 ^b	1,09	<0,001
Ritmo de degradación c, h¹	0,044 ^c	0,081 ^a	0,041 ^c	0,062 ^b	0,002	<0,01
Degradabilidad potencial, %	98,1 ^a	38,8 ^c	93,5 ^a	86,3 ^b	0,88	<0,001
Degradabilidad efectiva¹, %	47,7 ^b	30,0 ^c	48,5 ^b	53,3 ^a	0,54	<0,001
Degradabilidad de la proteína bruta						
Fracción a, %	-	-	50,7	54,9	1,91	0,39
Fracción b, %	-	-	49,2	45,0	1,91	0,39
Ritmo de degradación c, h⁻¹	-	-	0,062	0,086	0,002	<0,05
Degradabilidad potencial, %	-	-	99,99	99,9	0,01	0,42
Degradabilidad efectiva¹, %	-	-	75,7	81,4	0,53	<0,05

^{a,b,c}Las medias de mínimos cuadrados sin un superíndice común son diferentes por la prueba de Tukey a $P < 0,05$. ¹Calculada para una tasa de paso ruminal de 6%/h de acuerdo con INRA (2007). EEM: error estándar de la media.

En cuanto a la proteína bruta, se observó que el ritmo de degradación ruminal fue menor ($P < 0,05$) en la torta que en la harina de camelina, lo que dada la ausencia de diferencias ($P > 0,05$) en las fracciones rápida y lentamente degradable de ambas resultó en una mayor degradabilidad efectiva de la segunda ($P < 0,05$) (**Figura 4**). Estos resultados indican que el mayor contenido graso de la torta de camelina pudo afectar al ataque microbiano de su proteína. En este sentido, González et al. (2002) también observaron menor ritmo de degradación y degradabilidad efectiva (a una tasa de paso de 6%/h) en torta de soja expeller que en harina de soja extraída con solvente.

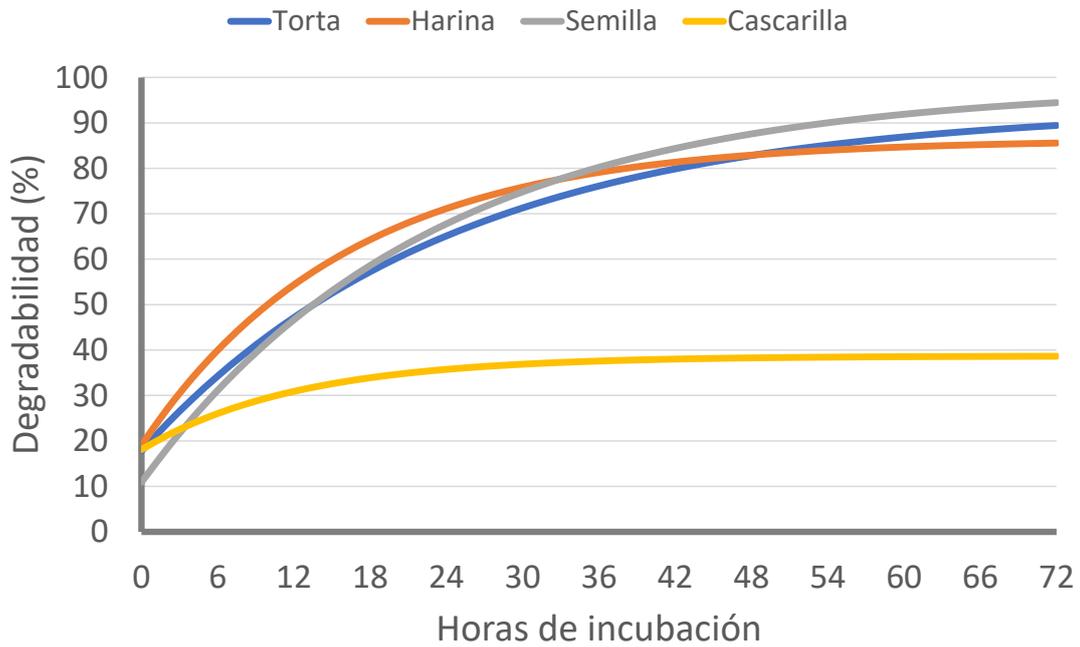


Figura 3. Cinética de degradación ruminal *in situ* de la materia seca de los productos de camelina.

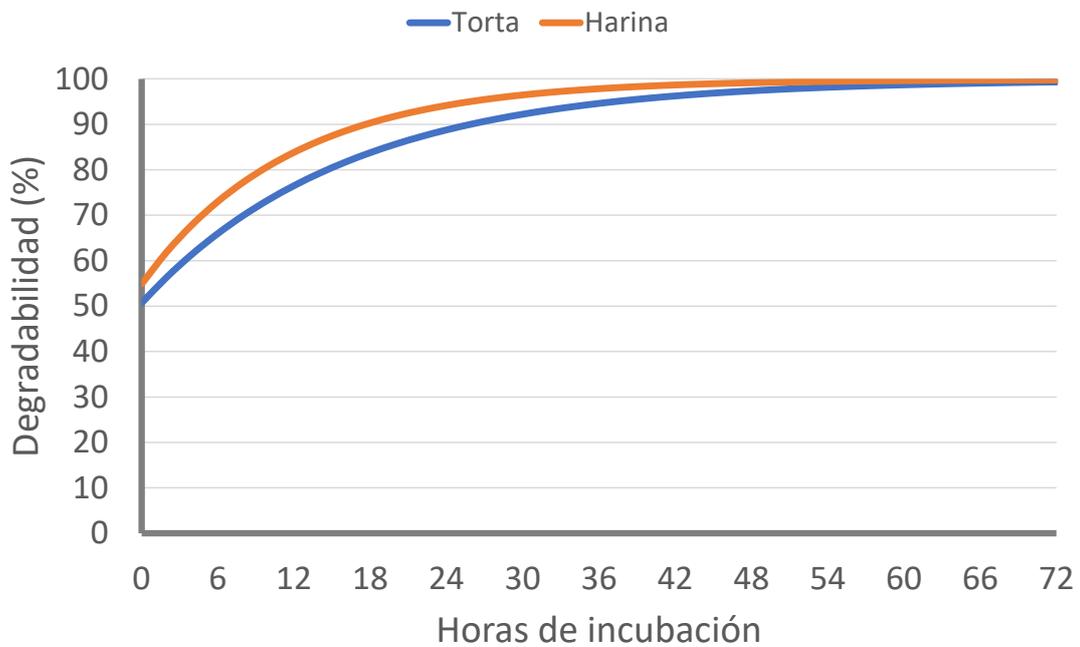


Figura 4. Cinética de degradación ruminal *in situ* de la proteína bruta de la torta y la harina de camelina.

Los parámetros de degradabilidad ruminal y la degradabilidad potencial de la materia seca y la proteína bruta de la torta de camelina de nuestro trabajo no coinciden con los de Salas et al. (2019). Las diferencias no pueden ser achadas a las especies utilizadas –ovinos en nuestro trabajo y bovinos en el de Salas et al. (2019)– (Huntington y Givens, 1998; Siddons y Paradine, 1983) ni a la composición química de la torta de camelina, que fue muy similar. Una explicación sería la existencia de divergencias laboratoriales, que son comunes en la técnica de degradabilidad *in situ* (Vanzant et al., 1998). Más aún, tampoco existe coincidencia de los parámetros de degradación ruminal de la proteína bruta de la torta de camelina encontrados en nuestro trabajo, el de Salas et al. (2019) y el de Lawrence y Anderson (2018), si bien la degradabilidad efectiva (a una tasa de 6%/h) es similar en todos ellos (76, 77 y 76%, respectivamente).

No hemos encontrado estudios publicados sobre la cinética de degradación ruminal *in situ* de la semilla, la harina o la cascarilla de camelina (**Tabla 5**). Los valores de degradabilidad potencial y efectiva de la semilla de camelina fueron similares y muy inferiores, respectivamente, a los encontrados en la semilla de soja cruda (100 y 79,7%, respectivamente) por Ganesh y Grieve (1990). Las degradabilidades potenciales de la materia seca y la proteína bruta de la harina de camelina fueron mayores que las reportadas por Zagorakis et al. (2015) para las harinas de soja, colza y girasol (80,4, 69,0 y 63,8%, respectivamente, para la materia seca; y 81,8, 70,7 y 91,7%, respectivamente, para la proteína bruta). Asimismo, en comparación con dichos autores, la degradabilidad efectiva de la materia seca de la harina de camelina fue menor que la de la harina de soja, similar a la de la harina de colza y mayor que la de la harina de girasol (62,2, 55,1 y 44,3%, respectivamente), y la degradabilidad efectiva de la proteína bruta fue muy superior a de las tres materias primas mencionadas (53,0, 50,2 y 63,9%, respectivamente). Los valores de degradabilidad potencial y efectiva de la materia seca de la cascarilla de camelina fueron muy inferiores a los hallados en la cascarilla de soja (97,7 y 51,7%, respectivamente) por Batajoo y Shaver (1998).

Digestibilidad total aparente y retención aparente de nitrógeno de un pienso rico en subproductos agroindustriales

Los resultados de las pruebas de digestibilidad y retención de nitrógeno de los piensos CON, CAM y FIB se muestran en la **Tabla 6**. El consumo de la ración y el pienso CAM fue inferior ($P < 0,05$) al de las raciones CON y FIB, lo que sugiere un problema de adaptación de los animales al sabor del pienso CAM por los glucosinolatos aportados por la harina de camelina (1,27 mmol/kg de pienso a partir de la **Tabla 15** de Capítulo 1 y la **Tabla 1** del presente Capítulo). Sin embargo, Avilés et al. (2019) no observaron problemas de consumo cuando los mismos piensos se suministraron a corderos de engorde en condiciones de granja. Más aún, Lawrence et al. (2016) tampoco encontraron diferencias en el consumo de materia seca en novillas cuya ración incluyó torta de camelina, que aportó glucosinolatos en una cantidad próxima a 2,5 mmol/kg de materia seca.

La ausencia de diferencias ($P > 0,05$) en la digestibilidad de la materia seca entre los tratamientos CON y CAM (**Tabla 6**), estuvo de acuerdo con los resultados de Lawrence et al. (2016) al comparar torta de camelina con otras fuentes más tradicionales de proteína como los DDGs y la harina de lino. Por otra parte, la digestibilidad de la materia seca de los piensos CON y CAM fue un 11% mayor ($P < 0,05$) que la del pienso FIB (**Tabla 6**). Este resultado era de esperar ya que el contenido de fibra neutro detergente del pienso FIB duplicó al de los piensos CON y CAM debido a las materias primas incluidas en su composición (**Tablas 1 y 2**). La fibra neutro detergente no solamente es el componente menos digestible del pienso, sino que aumenta las pérdidas fecales de materia orgánica (Owens et al., 2010). En este sentido, es una observación común que la digestibilidad de la materia seca disminuye al aumentar el porcentaje de fibra neutro detergente en la ración, ya sea debido al concentrado o al aumento de la proporción de forraje (Blanco et al., 2014; Dennis et al., 2018; Joy et al., 2017; Ludden et al., 1995; Ma et al., 2015; Ramos et al., 2009; Wanapat et al., 2013).

Tabla 6. Digestibilidad total aparente de la materia seca y la proteína bruta y retención aparente de nitrógeno de raciones con tres piensos para corderos y digestibilidad de los piensos por diferencia.

Parámetros	Tratamientos ¹			EEM	P
	CON	CAM	FIB		
Consumo de materia seca, g/d					
Ración	1069 ^a	887 ^b	1140 ^a	31,8	<0,01
Paja de cebada	113 ^b	202 ^a	164 ^{ab}	13,6	<0,05
Pienso	957 ^a	685 ^b	945 ^a	36,6	<0,001
Producción de materia seca fecal, g/d					
Ración	279 ^b	264 ^b	373 ^a	16,5	<0,01
Paja de cebada	60 ^b	107 ^a	87 ^{ab}	7,2	<0,01
Pienso	219 ^b	157 ^c	286 ^a	16,2	<0,001
Digestibilidad de la materia seca, %					
Ración	74,0 ^a	70,5 ^{ab}	66,4 ^b	1,02	<0,01
Pienso (por diferencia) ²	77,4 ^a	77,1 ^a	69,8 ^b	1,15	<0,01
Consumo de proteína bruta, g/d					
Ración	173 ^a	125 ^b	176 ^a	6,8	<0,001
Paja	5 ^b	8 ^a	7 ^{ab}	0,6	<0,05
Pienso	169 ^a	120 ^b	169 ^a	6,7	<0,001
Excreción fecal de proteína bruta, g/d	47 ^b	36 ^c	57 ^a	2,7	<0,001
Excreción de proteína bruta en la orina, g/d	57 ^a	32 ^b	48 ^{ab}	3,9	<0,05
Digestibilidad de la proteína bruta, %	73,1 ^a	71,2 ^{ab}	67,7 ^b	0,83	<0,05
Balance de proteína, g/d	69,4	56,4	70,8	3,15	0,11
Retención de proteína, %	40,4	45,6	40,3	1,84	0,43

^{a,b,c}Las medias de mínimos cuadrados sin un superíndice común son diferentes por la prueba de Tukey a $P < 0,05$. ¹CON: pienso basado en cereales y harina de soja; CAM: igual que el anterior pero la harina de camelina reemplazó el equivalente al 50% de la proteína bruta de la harina de soja; FIB: pienso sin cereales ni harina de soja y rico en subproductos agroindustriales. ²La digestibilidad de la materia seca de la paja de cebada se estimó en 47%, a partir de la literatura. EEM: error estándar de la media.

Los contenidos de energía metabolizable calculados de acuerdo con CSIRO (2007) a partir de los valores de digestibilidad de la materia seca obtenidos (**Tablas 2 y 5**) serían 2,68, 2,66 y 2,43 Mcal/kg en los piensos CON, CAM y FIB, respectivamente, lo que concuerda con los valores estimados para dichos piensos a partir de INRA (2007) y presentados en la **Tabla 2**. La menor digestibilidad del pienso FIB y su traducción en un menor contenido energético justifica los hallazgos de Avilés et al. (2019). Estos autores observaron que el consumo de pienso FIB fue un 24% mayor que el de los piensos CON y CAM, y señalaron que ello podría deberse a un intento de los corderos de cubrir las necesidades energéticas derivadas de su potencial de crecimiento como previamente habían sugerido Blanco et al. (2014).

La digestibilidad de la proteína bruta en el tratamiento FIB fue menor ($P < 0,05$) que en el tratamiento CON, situándose el tratamiento CAM en una posición intermedia (**Tabla 6**). La menor digestibilidad de la proteína bruta en el tratamiento FIB podría relacionarse con su mayor contenido de fibra neutro detergente y/o una menor digestibilidad de la proteína bruta aportada por los ingredientes incluidos en pienso. En su estudio, Owens et al. (2010) hallaron un efecto significativo de la fibra sobre la excreción fecal de proteína. Algunos autores han observado una disminución de la digestibilidad de la proteína bruta al aumentar el contenido de fibra neutro detergente de la ración (Dennis et al., 2018; Joy et al., 2017; Ramos et al., 2009), pero otros no han observado ningún efecto (Blanco et al., 2014; Ma et al., 2015). Por otro lado, la digestibilidad de la proteína bruta depende de la fracción insoluble en detergente ácido (Weiss et al., 1992), así como de la presencia de polifenoles (Correddu et al., 2020). Debido a su riqueza en subproductos, el pienso FIB debió tener mayor contenido de proteína insoluble en detergente ácido en la proteína bruta que el pienso CON (NRC, 2001). Respecto al efecto de los polifenoles, el pienso FIB debió contener cantidades mayores que el pienso CON debido a la inclusión de los subproductos de camelina, la harina de granilla de uva y los yeros en su composición (Sadeghi et al. 2009; Shi et al.

2003; Terpinc et al. 2012), que sumaron un total del 25,8% de la fórmula. En definitiva, uno o varios de los factores mencionados serían responsables de la menor digestibilidad de la proteína bruta en el tratamiento FIB.

La ausencia de diferencias entre tratamientos ($P > 0,05$) en el balance de proteína (**Tabla 6**) concuerda con los resultados de Blanco et al. (2014); sin embargo, Ma et al. (2015) hallaron una menor retención de proteína, sin cambios en su digestibilidad, en las raciones con mayor contenido de fibra neutro detergente de su trabajo, lo que sugiere un peor aprovechamiento metabólico de los aminoácidos absorbidos. En general, al aumentar el consumo de proteína bruta con la ración se reduce linealmente la retención aparente de proteína (Bernard et al., 2020). En concordancia con ello, en nuestro estudio, la retención aparente de proteína fue numéricamente mayor en el tratamiento CAM, donde el consumo de proteína bruta fue significativamente menor que en los otros tratamientos.

Metabolismo ruminal de un pienso rico en subproductos agroindustriales

Resultados generales

La evolución de los parámetros del metabolismo ruminal en respuesta al consumo de los piensos CON y FIB se muestra en la **Tabla 7**. El efecto del tratamiento solamente fue significativo ($P < 0,05$) para el amoníaco, el ácido láctico, el ácido butírico y el ácido isovalérico, y tendió a la significación ($P \leq 10$) para las relaciones entre los ácidos grasos volátiles. El efecto de la hora de medida fue significativo ($P < 0,05$) en todos los parámetros excepto las relaciones entre los ácidos grasos volátiles. La interacción tratamiento \times hora fue significativa ($P < 0,05$) para el pH, el amoníaco, el ácido isobutírico y el ácido isovalérico y tendió a ser significativa ($P = 0,07$) para el ácido butírico. De manera general, todos los efectos observados pueden interpretarse como una respuesta de la fermentación ruminal a la relación almidón/fibra neutro detergente de los piensos estudiados (Noziere et al., 2010).

Tabla 7. Evolución de los parámetros ruminales en corderos en respuesta al consumo de raciones con dos piensos de diferente composición.

Parámetro	Tratamiento ¹ (T)	Horas (H)				EEM	P		
		0	2	4	8		T	H	T × H
pH	CON	7,15 ^a	5,09 ^{bB}	4,99 ^b	5,39 ^b	0,162	0,11	<0,001	<0,05
	FIB	6,72 ^a	5,89 ^{bA}	5,54 ^b	5,42 ^b				
NH ₃ , mg/100 mL	CON	15,1 ^{aA}	4,48 ^{bc}	3,39 ^c	8,50 ^{bA}	0,895	<0,001	<0,001	<0,05
	FIB	7,27 ^{aB}	3,01 ^b	2,54 ^b	3,39 ^{bB}				
Ácido láctico, mg/L	CON	68,8 ^b	1037 ^{aA}	705 ^{aA}	128 ^b	92,2	<0,01	<0,05	0,11
	FIB	43,0	153 ^B	69,6 ^B	40,2				
AGV totales, mM	CON	37,5 ^b	69,6 ^b	86,6 ^a	76,3 ^{ab}	6,93	0,61	<0,05	0,60
	FIB	40,5 ^b	36,9 ^b	101 ^a	68,0 ^{ab}				
Acético (Ac), %	CON	56,5	42,6	43,8	43,0	2,32	0,15	<0,05	0,97
	FIB	65,8 ^a	46,7 ^b	50,5 ^{ab}	47,6 ^b				
Propiónico (Pr), %	CON	29,5 ^b	48,6 ^a	48,0 ^{ab}	47,2 ^{ab}	2,49	0,13	<0,05	0,97
	FIB	25,8	40,6	38,9	39,2				
Butírico (Bu), %	CON	5,81 ^b	7,92 ^{abB}	7,52 ^{ab}	9,01 ^{aB}	0,562	<0,01	<0,001	0,07
	FIB	4,59 ^b	11,4 ^{aA}	9,70 ^a	11,9 ^{aA}				
Isobutírico, %	CON	3,69 ^{aA}	0,42 ^b	0,32 ^b	0,37 ^b	0,250	0,20	<0,001	<0,05
	FIB	1,88 ^{aB}	0,64 ^b	0,47 ^b	0,58 ^b				
Isovalérico, %	CON	4,53 ^{aA}	0,50 ^b	0,30 ^b	0,38 ^b	0,299	<0,05	<0,001	<0,001
	FIB	1,92 ^{aB}	0,63 ^b	0,43 ^b	0,65 ^b				
Ac/Pr	CON	2,01	0,88	0,94	0,94	0,233	0,10	0,15	0,98
	FIB	3,02	1,37	1,84	1,66				
(Ac+Bu)/Pr	CON	2,21	1,05	1,09	1,13	0,251	0,09	0,26	0,99
	FIB	3,20	1,68	2,15	2,06				

¹CON: pienso basado en cereales y harina de soja; FIB: pienso sin cereales ni harina de soja y rico en subproductos agroindustriales.

pH ruminal

La ausencia de diferencias del pH del líquido ruminal entre tratamientos ($5,77 \pm 0,792$, en promedio) (**Tabla 7**) estuvo de acuerdo con los resultados de algunos trabajos previos en los que se compararon concentrados con diferentes niveles de fibra neutro

detergente (Blanco et al., 2014; Joy et al., 2017), pero no con aquellos en los que el nivel de fibra neutro detergente de la ración se modificó alterando la proporción forraje/concentrado (Carro et al., 2000; Ma et al., 2015; Ramos et al., 2009). El pH ruminal descendió bruscamente dos horas después de la comida, de forma más acusada en el tratamiento CON, y se mantuvo estable posteriormente (**Figura 5**), en un rango de valores que son indicativos de acidosis ruminal subclínica (Commun et al., 2009) y, al menos en el tratamiento CON, fueron un reflejo de los cambios en la concentración de los ácidos láctico y propiónico en el líquido ruminal (**Figuras 5 y 8**) en concordancia con las observaciones de Briggs et al. (1957). La caída del pH ruminal tras la comida es una observación común y se debe al aumento del sustrato fermentable para las bacterias (Belanche et al., 2012; Commun et al., 2009).

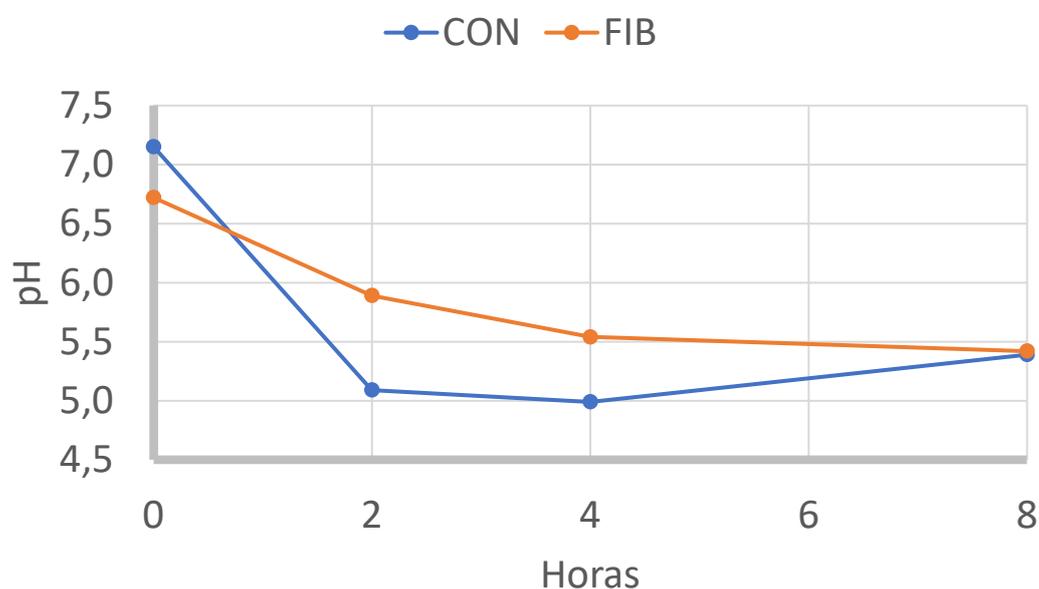


Figura 5. Evolución temporal del pH del líquido ruminal en corderos que consumieron una ración cuyo pienso estuvo basado en cereales y harina de soja (CON) o fue rico en subproductos agroindustriales (FIB).

Amoníaco

Los contenidos de amoníaco en el líquido ruminal de ambos tratamientos (**Tabla 7**) fueron en todo momento suficientes para sostener el máximo crecimiento microbiano (Slyter et al., 1979) y los valores medios ($7,9 \pm 4,93$ y $4,1 \pm 2,82$ mg/100 mL en los tratamientos CON y FIB, respectivamente) estarían en línea con los resultados de digestibilidad de la materia seca de las raciones descrita en el epígrafe anterior (Huhtanen et al., 2015). Los mayores niveles de amoníaco de los animales del tratamiento CON se justificarían por el consumo de una proteína bruta más fácilmente degradable, sin interferencias de polifenoles o proteína insoluble en detergente ácido como se ha discutido en el epígrafe anterior (Carro et al., 2000; De Evan et al., 2020). Sin embargo, Belanche et al. (2012) hallaron una menor concentración ruminal de amoníaco cuando la relación almidón/fibra neutro detergente de la ración fue más alta, posiblemente relacionada con un crecimiento microbiano más elevado y mayor utilización ruminal del nitrógeno disponible. Por el contrario, Blanco et al. (2015) no vieron ningún efecto al aumentar el consumo de fibra neutro detergente con la ración.

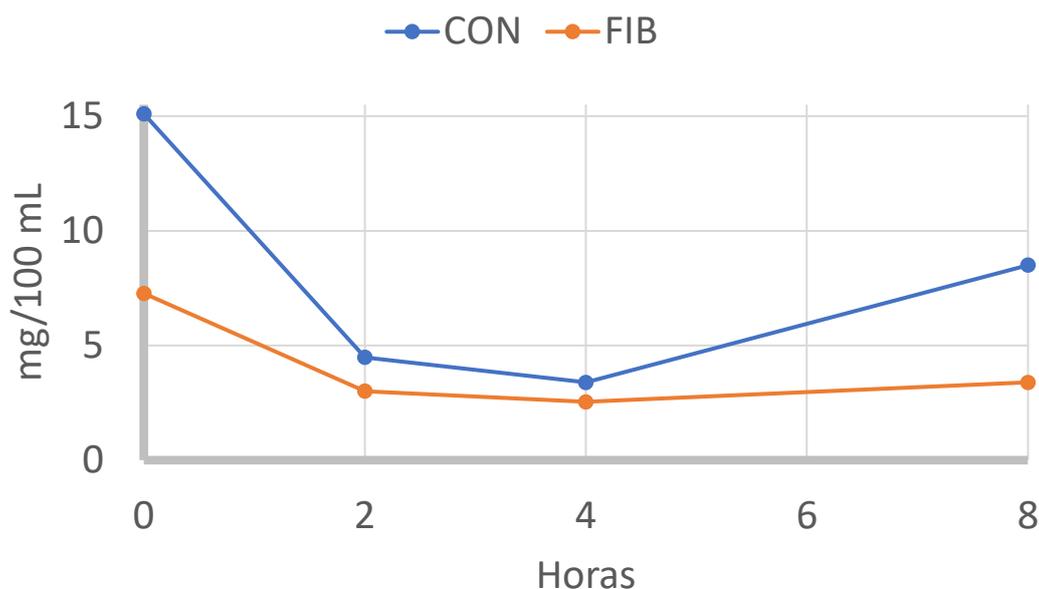


Figura 6. Evolución temporal del amoníaco en el líquido ruminal de corderos que consumieron una ración cuyo pienso estuvo basado en cereales y harina de soja (CON) o fue rico en subproductos agroindustriales (FIB).

El valor inicial de amoníaco fue mayor en el tratamiento CON, descendió bruscamente en ambos tratamientos a las dos horas de la comida y se mantuvo estable a partir de ahí en el tratamiento FIB, pero en el tratamiento CON disminuyó todavía a las cuatro horas para recuperarse a las ocho horas hasta los niveles de las horas 2 y 4, alcanzando entonces nuevamente un valor superior al del tratamiento FIB (**Figura 6**). El patrón de cambio en el tiempo del amoníaco fue normal. La concentración de amoníaco es mayor en los primeros 30-90 minutos tras la comida, luego desciende al agotarse el sustrato y ser retirado del medio por las bacterias y tiende a recuperarse transcurridas unas horas desde la última comida, pero la causa no está aclarada (Belanche et al., 2012; Leedle et al., 1982; Sinclair et al., 1995; Wohlt et al., 1976).

Ácido láctico

El contenido promedio de ácido láctico en el líquido ruminal del tratamiento CON fue muy superior al del tratamiento FIB ($484 \pm 581,1$ vs. $77 \pm 88,2$ mg/L) (**Tabla 7**). Esta diferencia se sustentaría en que el mayor consumo de almidón en el tratamiento CON que en el tratamiento FIB (414 vs. 189 g/d; a partir de las **Tablas 2 y 6**), fácilmente fermentable debido al molido y granulación de las materias primas (Castrillo et al., 2013; Gimeno et al., 2015), pudo favorecer un rápido crecimiento de las bacterias amilolíticas (Andrés et al., 2018; Wanapat et al., 2013), con el consiguiente aumento de la proporción molar de ácido propiónico y la concentración de ácido láctico en el rumen que llevó, a su vez, a la reducción del pH ruminal (Briggs et al., 1957) (**Tabla 7**). El ácido láctico tuvo un aumento explosivo en las horas 2 y 4 después de la comida en el tratamiento CON y mucho menos pronunciado, con valores más bajos, en el tratamiento FIB, donde el efecto del tiempo no fue significativo (**Figura 7**). El elevado valor en las primeras horas coincide con la abundancia de sustrato fermentable para las bacterias, en tanto que la reducción en el tratamiento CON tras el fuerte aumento inicial indicaría su retirada del medio por las especies bacterianas utilizadoras del ácido láctico como *Megasphaera elsdenii* y otras (Belanche et al., 2012; Mackie et al., 1979).

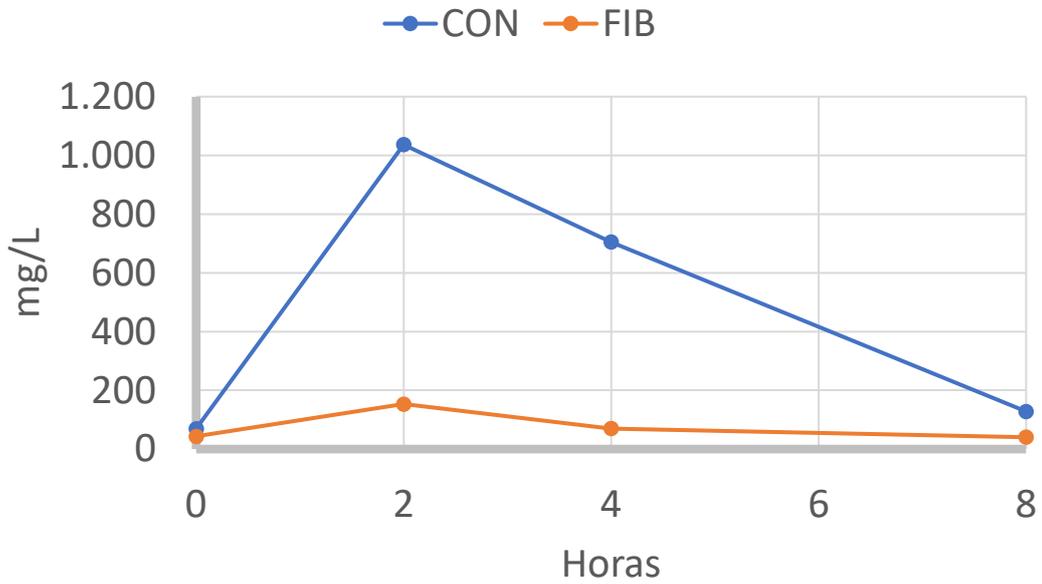


Figura 7. Evolución temporal del ácido láctico en el líquido ruminal de corderos que consumieron una ración cuyo pienso estuvo basado en cereales y harina de soja (CON) o fue rico en subproductos agroindustriales (FIB).

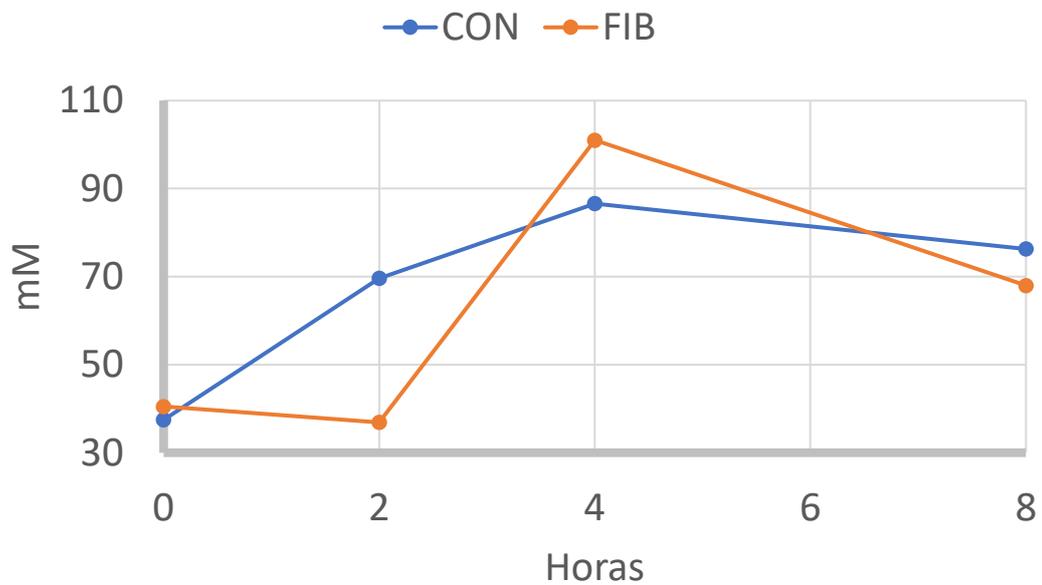


Figura 8. Evolución temporal de los ácidos grasos volátiles totales en el líquido ruminal de corderos que consumieron una ración cuyo pienso estuvo basado en cereales y harina de soja (CON) o fue rico en subproductos agroindustriales (FIB).

Ácidos grasos volátiles totales

La ausencia de diferencias del contenido total de ácidos grasos volátiles del líquido ruminal entre tratamientos ($64,8 \pm 33,94$ mM, en promedio) (**Tabla 7**) estuvo de acuerdo con los resultados de Carro et al. (2000) y Blanco et al. (2015), pero discrepó de Ma et al. (2015) y Wanapat et al. (2013), quienes observaron una mayor concentración en los tratamientos en los que la proporción entre los carbohidratos no fibrosos y la fibra neutro detergente de la ración fue mayor. El contenido total de ácidos grasos volátiles aumentó en la hora 4 en ambos tratamientos y luego tendió a recuperar los valores de las horas 0 y 2 (**Figura 8**), en concordancia con las observaciones de Briggs et al. (1957).

Ácidos acético y propiónico

Las concentraciones de los ácidos acético y propiónico en el líquido ruminal no mostraron diferencias entre tratamientos ($49,6 \pm 11,39$ y $39,7 \pm 12,18\%$, respectivamente, en promedio) (**Tabla 7**), en coincidencia con los resultados de Joy et al. (2017), cuyas raciones tuvieron una menor diferencia de la relación entre el almidón y la fibra neutro detergente (1,5 – 2,3) que en nuestro trabajo (0,7 – 3,2). Sin embargo, lo esperado hubiera sido una reducción de la proporción molar de ácido acético en beneficio del ácido propiónico, como observaron Carro et al. (2000), Ma et al. (2015), Ramos et al. (2009) y Wanapat et al. (2013), dado que las diferencias entre los tratamientos de nuestro estudio fueron mayores que las usadas por dichos autores. Es un hecho bien conocido que la fermentación ruminal de la fibra neutro detergente resulta principalmente en la producción de ácido acético, mientras que la fermentación del almidón da lugar a cantidades más equilibradas de los ácidos acético y propiónico (Murphy et al., 1982), lo que deriva en que la proporción molar de ácido acético es menor y la de ácido propiónico es mayor en el líquido ruminal de los animales que consumen raciones ricas en almidón frente a aquellos que consumen raciones ricas en fibra neutro detergente procedente principalmente de forrajes (Palarea-Albaladejo

et al., 2017). La principal diferencia entre nuestro trabajo y el de Joy et al. (2017) frente a los de Carro et al. (2000), Ma et al. (2015), Ramos et al. (2009) y Wanapat et al. (2013) es que la mayor parte de la fibra neutro detergente en las raciones fibrosas fue aportada por subproductos agroindustriales incluidos en el pienso, lo que sugiere que la forma en que se aporta la fibra neutro detergente podría afectar al patrón de fermentación. Nuevos estudios serían necesarios para confirmar este extremo. El tiempo no afectó al ácido acético en el tratamiento CON, pero en el tratamiento FIB se observó un valor más alto a las cero horas (**Figura 9**). Por el contrario, el tiempo no afectó al ácido propiónico en el tratamiento FIB, pero en el tratamiento CON aumentó en la hora 2 y tendió a mantenerse alto en las horas siguientes (**Figura 10**). Estos diferentes patrones de cambio en el tiempo son difíciles de explicar, pero podrían relacionarse con el ritmo de fermentación de los sustratos mayoritarios en los piensos de cada tratamiento por parte de las diferentes especies microbianas del rumen (Belanche et al., 2012).

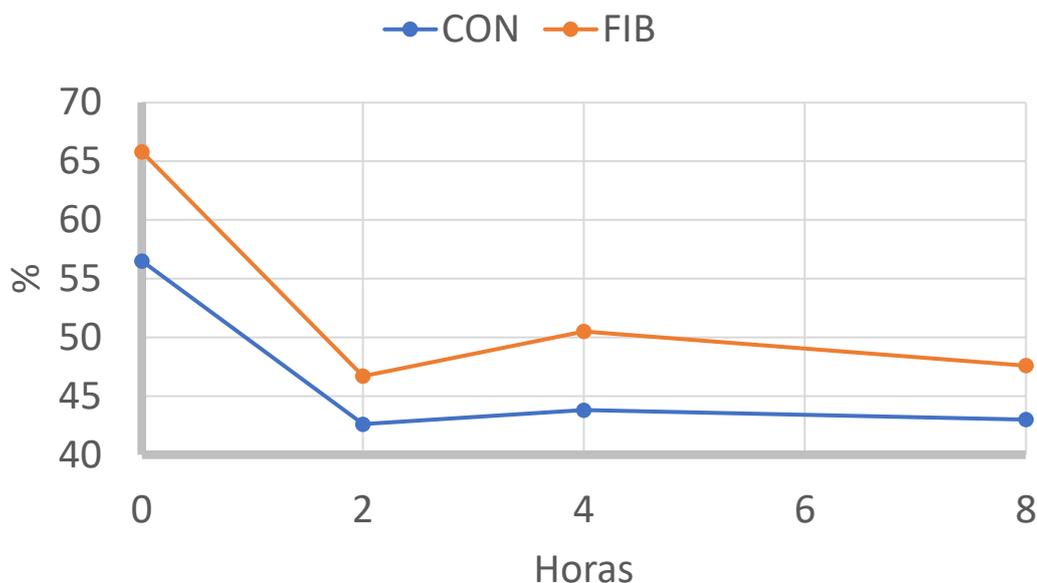


Figura 9. Evolución temporal del ácido acético en el líquido ruminal de corderos que consumieron una ración cuyo pienso estuvo basado en cereales y harina de soja (CON) o fue rico en subproductos agroindustriales (FIB).

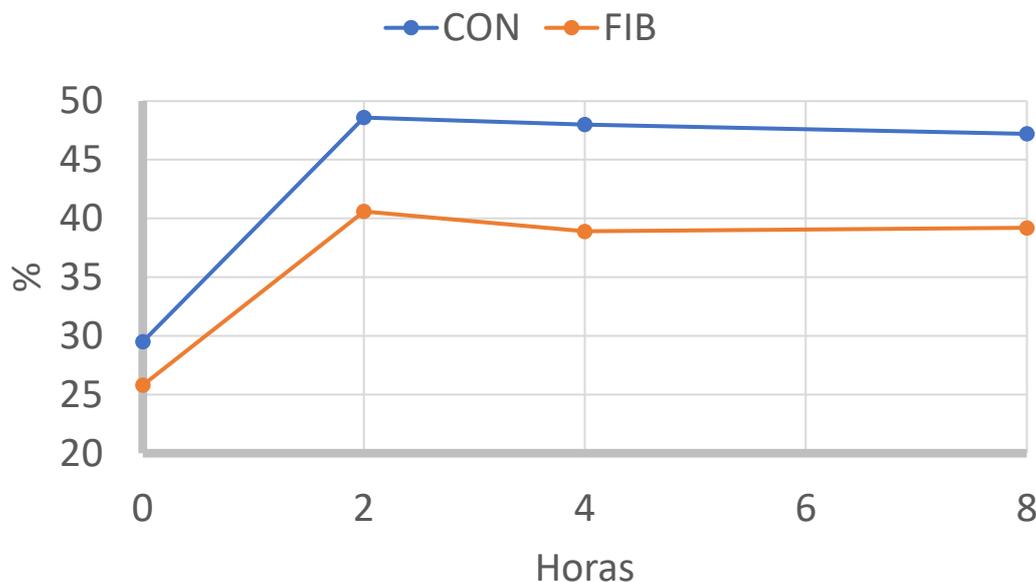


Figura 10. Evolución temporal del ácido propiónico en el líquido ruminal de corderos que consumieron una ración cuyo pienso estuvo basado en cereales y harina de soja (CON) o no incluyó cereales ni harina de soja y fue rico en subproductos agroindustriales (FIB).

Ácido butírico

El porcentaje de ácido butírico fue mayor en el tratamiento FIB que en el tratamiento CON ($9,41 \pm 3,447$ vs. $7,56 \pm 1,467\%$), en contraste con la ausencia de diferencias en los trabajos de Blanco et al. (2015) y Joy et al. (2017) y contrariamente a los hallazgos de trabajos previos en los que la reducción del consumo de fibra neutro detergente causó un aumento de la proporción molar de ácido butírico (Carro et al., 2000; Ma et al., 2015; Ramos et al., 2009). Más aún, la fermentación del almidón produce mayor cantidad de ácido butírico que la fermentación de la fibra neutro detergente (Murphy et al., 1982). Como se ha mencionado al hablar de los ácidos acético y propiónico, serían necesarios más estudios para determinar el efecto de la forma física de la fibra neutro detergente de la ración sobre las proporciones molares de los ácidos graso volátiles ruminales. El ácido butírico aumentó desde la hora 2 en adelante en ambos

tratamientos, en coincidencia con las observaciones de Belanche et al. (2012), pero de forma más acentuada en el tratamiento FIB, observándose valores mayores que el tratamiento CON a las dos y ocho horas tras la comida (**Figura 11**).

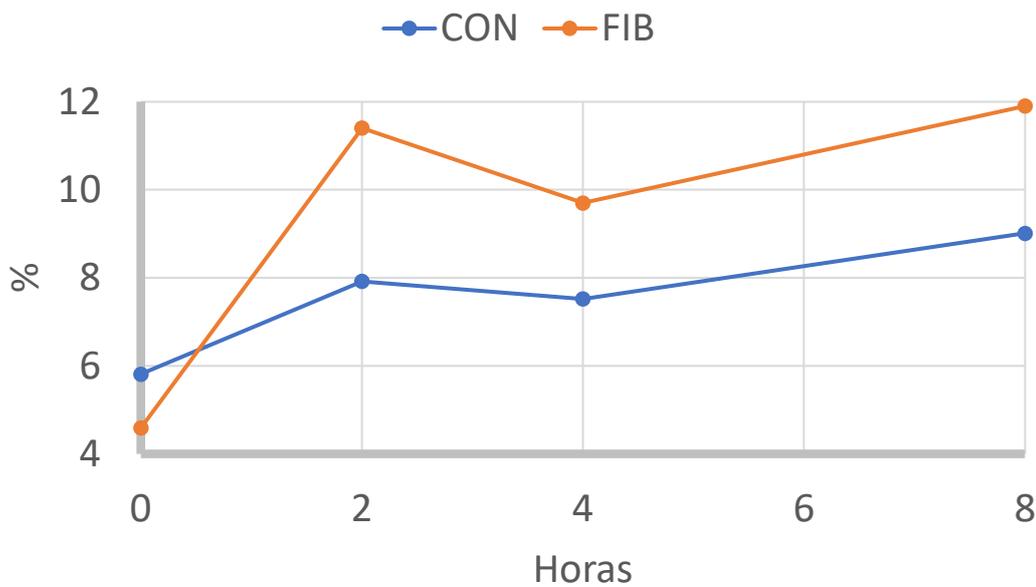


Figura 11. Evolución temporal del ácido butírico en el líquido ruminal de corderos que consumieron una ración cuyo pienso estuvo basado en cereales y harina de soja (CON) o no incluyó cereales ni harina de soja y fue rico en subproductos agroindustriales (FIB).

Ácidos isobutírico e isovalérico

La proporción molar de ácido isobutírico no difirió entre tratamientos ($1,04 \pm 1,226\%$, en promedio) (**Tabla 7**), en concordancia con trabajos previos (Joy et al., 2017; Ma et al., 2015; Ramos et al., 2009), pero la proporción molar de ácido isovalérico fue mayor en el tratamiento CON que en el FIB ($1,43 \pm 1,946$ vs. $0,91 \pm 0,740\%$), coincidiendo con Ramos et al. (2009), pero en contraste con Joy et al. (2017) y Ma et al. (2015). Las proporciones iniciales de ambos ácidos fueron mayores en el tratamiento CON que en el FIB y disminuyeron y se estabilizaron en ambos tratamientos desde la hora 2 (**Figuras 12 y 13**), en línea con lo observado por Belanche et al. (2012).

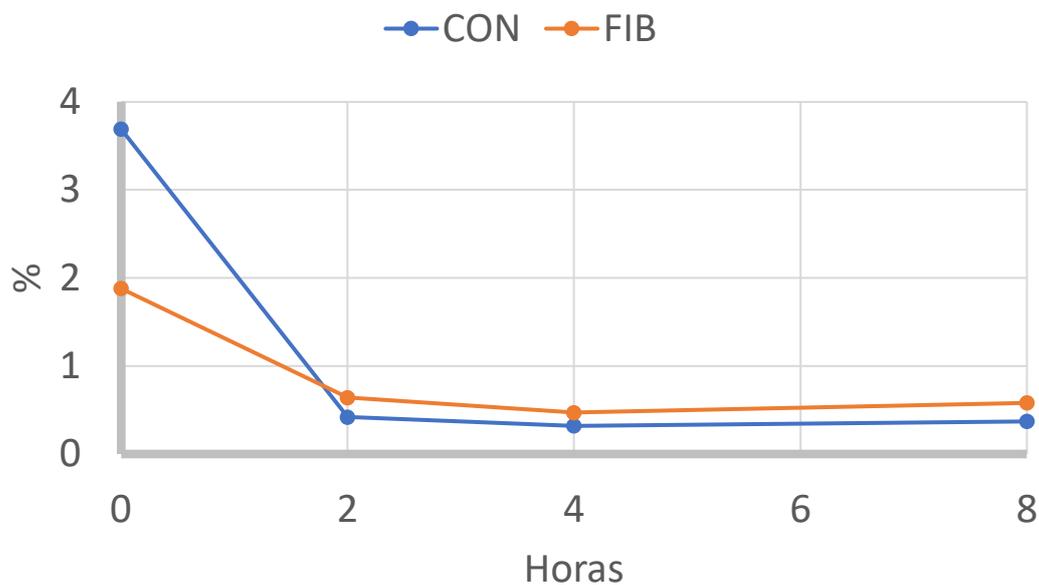


Figura 12. Evolución temporal del ácido isobutírico en el líquido ruminal de corderos que consumieron una ración cuyo pienso estuvo basado en cereales y harina de soja (CON) o fue rico en subproductos agroindustriales (FIB).

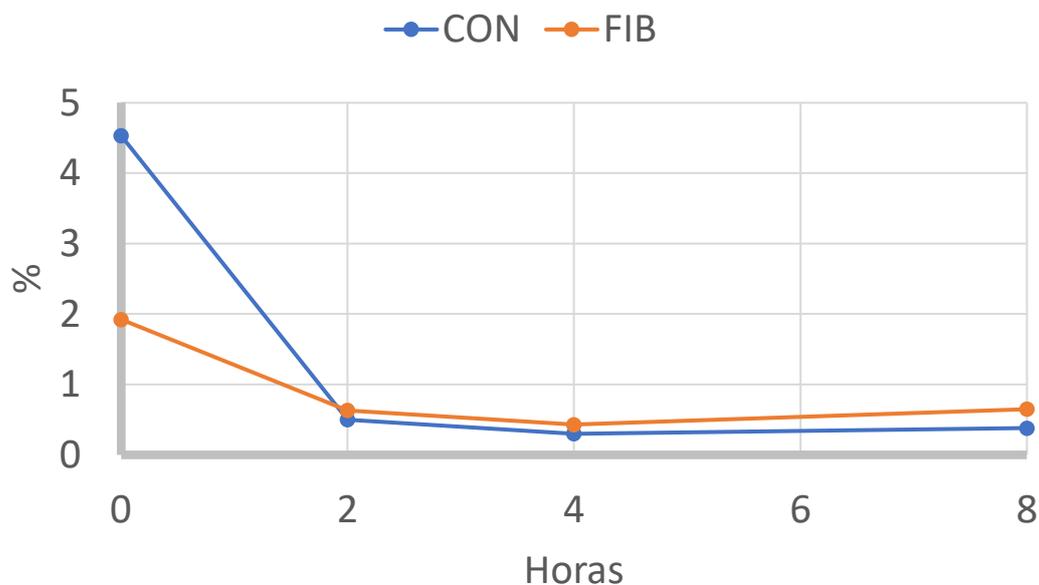


Figura 13. Evolución temporal del ácido isovalérico en el líquido ruminal de corderos que consumieron una ración cuyo pienso estuvo basado en cereales y harina de soja (CON) o fue rico en subproductos agroindustriales (FIB).

Relaciones entre los ácidos grasos volátiles

Los valores de las relaciones acético/propiónico y (acético+butírico)/propiónico tendieron a ser mayores en el tratamiento FIB que en el tratamiento CON ($1,97 \pm 1,452$ vs. $1,19 \pm 0,545$ y $2,27 \pm 1,582$ vs. $1,37 \pm 0,556$, respectivamente), lo que concuerda con trabajos previos (Carro et al., 2000; Ma et al., 2015; Wanapat et al., 2013), pero no se vieron afectados por el tiempo.

Existe una estrecha relación entre las proporciones molares de los ácidos grasos volátiles mayoritarios en el líquido ruminal y la producción de metano de los rumiantes, cuya importancia para la sostenibilidad de la actividad ganadera es fuera de toda duda (Haque, 2018). Teniendo en cuenta los valores medios de las proporciones molares de los ácidos acético, propiónico y butírico total (butírico + isobutírico) en el líquido ruminal de los tratamientos CON y FIB ($46,5 \pm 6,81$ y $52,7 \pm 14,29\%$, $43,3 \pm 8,83$ y $36,1 \pm 14,28\%$, y $8,8 \pm 1,28$ y $10,3 \pm 3,05\%$, respectivamente), y aplicando la ecuación 4 de Williams et al. (2019), se calculó que la producción de metano tendería a ser mayor ($P = 0,08$) en el tratamiento FIB que en el tratamiento CON ($5,7 \pm 3,34$ vs. $3,8 \pm 1,42$ g/kg de materia seca consumida), en línea con los hallazgos de Wanapat et al. (2013).

Conclusiones

La digestibilidad de la materia seca de la torta de camelina es elevada, haciéndola equiparable a otras tortas proteicas análogas. La digestibilidad de la materia seca de la cascarilla de camelina es inferior a la de la cascarilla de soja. La degradabilidad ruminal efectiva de la materia seca de la semilla y la cascarilla es inferior a la de los mismos productos de soja, mientras que la degradabilidad ruminal efectiva de la proteína bruta de la torta y la harina de camelina es comparable a la de la harina de soja. Estos resultados indican que los productos de camelina son útiles para la inclusión en las raciones de los rumiantes en sustitución de materias primas más tradicionales. Reemplazar parte de la harina de soja por harina de camelina no afecta

a la digestibilidad de la materia seca del pienso ni a la digestibilidad y retención corporal de nitrógeno de la ración. Sin embargo, reemplazar los cereales y la harina de soja por una variedad de materias primas, principalmente subproductos agroindustriales ricos en fibra, en el pienso reduce la digestibilidad de la materia seca del mismo, así como la digestibilidad de la materia seca y la proteína de la ración, lo que debería tenerse en cuenta de cara a la utilización en condiciones de granja de piensos de esas características. No obstante, dicho pienso ofrece algunas ventajas desde el punto de vista ruminal ya que resulta en menor variación del pH ruminal y no altera la producción de ácido láctico después de la comida, sin efectos adversos sobre otros parámetros.

CAPITULO III

EFFECTO DE UN PIENSO RICO EN SUBPRODUCTOS
AGROINDUSTRIALES SOBRE LOS RESULTADOS
PRODUCTIVOS, LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL Y LA
CALIDAD DE LA CARNE DE TERNERAS

Resumen

El objetivo del presente Capítulo fue investigar los efectos de un pienso concentrado con bajo contenido en cereales y rico en subproductos agroindustriales en los resultados productivos, las características de la canal y la calidad de la carne. Se utilizaron 100 novillas cruzadas de raza Limusín distribuidas en ocho corrales asignados al azar a uno de dos tratamientos: CON (control) y ALT (alternativo). El tratamiento CON consistió en un concentrado comercial con el 43% de cereales. El tratamiento ALT consistió en un concentrado con el 22% de cereales y un total del 74% de subproductos agroindustriales. Los datos productivos se recogieron en los 91 días que duró el experimento. Las características de la canal se midieron tras el sacrificio y a las 24 horas de este. A continuación, se prepararon muestras del músculo Longísimo envasadas al vacío, que fueron maduradas durante 7, 21 o 28 días y expuestas en aerobiosis durante 24, 48 o 72 horas para estudiar las características instrumentales de la carne. El consumo de alimento y el índice de conversión fueron mayores en el tratamiento ALT, pero no hubo diferencias en la ganancia media diaria ni en los costes de alimentación. El tratamiento no afectó a las características de la canal: clasificación, peso caliente y frío, rendimiento, pérdidas de enfriado, espesor de la grasa subcutánea, pH, temperatura y color del magro y la grasa, ni a las características de la carne: pérdidas por goteo y cocinado, resistencia al corte, estabilidad oxidativa, índices cromáticos y contenidos de pigmentos. Al aumentar el tiempo de maduración, las pérdidas por goteo y cocinado y la resistencia al corte se redujeron. La maduración empeoró la intensidad de rojo y aumentó el contenido de metamioglobina, más acentuadamente al prolongarse el tiempo de exposición que, a su vez, aumentó el tono marrón en la superficie de la carne. En conclusión, el cebo de novillas de carne con un concentrado rico en subproductos agroindustriales no tiene efectos negativos de ninguna clase. Los tiempos de maduración y exposición de la carne tienen un profundo efecto sobre las características relacionadas con sus atributos sensoriales.

Introducción

Hoy en día, la ganadería bovina de carne se enfrenta a retos sin precedentes relacionados con la rentabilidad, la emisión de gases de efecto invernadero, la salud y la productividad de los animales, y la seguridad y calidad de los productos obtenidos. Todo ello depende en gran medida de la composición de la ración que, por otra parte, es el coste más importante de la producción (Hocquette et al., 2018; Makkar, 2013). Por otro lado, aunque el sector bovino de carne contribuye a los problemas ambientales, también tiene un papel fundamental en el desarrollo de sistemas sostenibles de producción de alimentos (Gerber, et al., 2015).

La Unión Europea es el tercer mayor productor mundial de carne de vacuno, pero existen grandes diferencias en la productividad y los ingresos de los productores entre regiones debido a las diferencias de climas, disponibilidad de forrajes, razas y sistemas producción (Hocquette et al., 2018). En las regiones mediterráneas, como el sur de España, las condiciones climáticas no permiten generalmente engordar el ganado vacuno con alimentación mayoritariamente basada en pastos o forrajes conservados. Por este motivo, tras el destete entre 5 y 8 meses de edad, los terneros son trasladados a cebaderos donde son engordados mediante el suministro de piensos concentrados, basados principalmente en cereales y harina de soja, para consumo *ad libitum*, y un aporte mínimo de paja de cereales como fuente de fibra física efectiva. Este tipo de raciones incrementa los costes de producción, compite por los ingredientes con otras especies productoras de alimentos como los cerdos y las aves, no aprovechan la capacidad de los rumiantes para digerir alimentos fibrosos y aumenta el riesgo de acidosis ruminal (Mottet et al., 2018; Millen et al., 2016). Estos sistemas intensivos de alimentación pueden considerarse como no sostenibles de acuerdo con las directrices políticas actuales (FAO, 2010) ni hacen una contribución significativa a la economía circular (Van Zanten et al., 2019). Una opción para cambiar la situación actual podría

ser la sustitución de los cereales y la harina de soja del concentrado con subproductos agroindustriales (Salami et al., 2019).

Las características de la ración suministrada durante el cebo pueden influenciar los resultados productivos, las características de la canal y la calidad instrumental de la carne. Generalmente, reemplazar los cereales con subproductos fibrosos reduce el contenido energético del concentrado, salvo que se aumente el contenido de grasa, lo que puede afectar a la energía disponible para el engorde (Ludden et al., 1995). Más aún, el consumo de raciones ricas en fibra aumenta la proporción de ácido acético en el fluido ruminal a expensas de la proporción de ácido propiónico (Van Eenaeme et al., 1990). Las proporciones entre los ácidos grasos volátiles resultantes de la fermentación ruminal determinan la eficiencia con que la ración se usa para el engorde y repercuten en la distribución de la síntesis de grasa entre el tejido muscular y el tejido adiposo (Reynolds et al., 1991; Rhoades et al., 2007). Respecto a las características de la carne, es bien sabido que el color es usado por los consumidores como un indicador de frescura y tiene una gran importancia en la decisión de compra, en tanto que la ternera es uno de los aspectos más apreciados al consumir la carne (Glitsch, 2000), siendo ambos atributos afectados por las características de la ración y los tiempos de maduración y exposición (López-Pedrouso et al., 2020).

En la bibliografía se encuentran muy pocos trabajos de investigación que hayan reportado en detalle los efectos que la modificación de la composición de ingredientes del concentrado suministrado en condiciones intensivas de alimentación pueda tener sobre los resultados productivos, las características de la canal y la calidad instrumental de la carne de vacuno (Cuvelier et al., 2006, Li et al., 2014; Santos-Silva et al., 2020; Tayengwa et al., 2020). Menos trabajos aún han investigado el efecto del tiempo de maduración sobre la calidad instrumental de la carne en dichas condiciones

de alimentación (Santos-Silva et al., 2020) y, a nuestro conocimiento, ninguno ha prestado atención al tiempo de exposición.

Objetivos

En el presente capítulo se investigaron los efectos de suministrar un concentrado rico en subproductos agroindustriales a terneras de cebo sobre el rendimiento productivo, las características de la canal y la calidad instrumental de la carne a diferentes tiempos de maduración y exposición.

Materiales y métodos

Animales, alojamiento y manejo general

Todos los procedimientos experimentales del presente estudio cumplieron con la normativa española para el cuidado de animales durante la cría, transporte, sacrificio y experimentación (BOE, 2013) y la directiva de la Unión Europea para experimentos con animales (UE, 2010).

En un cebadero comercial, 100 novillas cruzadas de raza Limusín con $378 \pm 10,3$ kg de peso vivo inicial y $12 \pm 1,8$ meses de edad se distribuyeron en ocho corrales (12-13 novillas por corral) teniendo cuidado en asegurar la uniformidad en edad y peso vivo entre corrales. Los corrales constaron de una zona cubierta, cerrada a tres vientos y con cama de paja sobre tierra, en la que se ubicaron los comederos, y un patio al aire libre. Cada corral dispuso de su propio bebedero de nivel constante, una forrajera y un comedero lineal. La longitud del comedero fue suficiente para permitir a todos los animales comer simultáneamente. Los animales tuvieron libre acceso al agua, paja de cereales y pienso concentrado en todo momento.

El período experimental duró 91 días y fue precedido de un período de 14 días en el que las novillas se adaptaron gradualmente a los piensos experimentales desde el pienso de crecimiento, que fue común a todos los corrales.

Tabla 1. Composición de ingredientes de los piensos experimentales (% sobre peso seco al aire).

Ingredientes	CON	ALT
Cebada	32,3	16,0
Cascarilla de soja	-	12,0
Harina de zootécnica de maíz	4,0	11,2
Maíz	11,0	6,0
Gluten feed de maíz	9,0	8,1
Salvado de trigo	8,0	8,2
Harina de girasol	8,0	-
Yeros	5,0	-
DDGs de maíz	4,0	10,0
Torta de palmiste	4,0	
Raicilla de malta	4,0	6,0
Paja tratada con soja	-	5,0
Torta de camelina	-	4,0
Cascarilla de camelina	-	4,0
Harina de granilla de uva desgrasada	-	3,0
Carbonato cálcico	2,5	2,5
Salvado de arroz	2,4	2,0
Harina de soja	2,0	-
Jabón cálcico de palma	1,1	-
Bicarbonato sódico	1,0	1,0
Aceite de palma	0,7	-
Sal	0,5	0,5
Corrector vitamínico-mineral¹	0,5	0,5

¹Rumiantes cebo (Trouw Nutrition, Madrid, España) conteniendo por kg: vitamina A, 1600000 UI; vitamina D3, 500000 UI; vitamina E (α -tocoferol), 2500 UI; vitamina B12, 1,2 mg; vitamina B1, 320 mg; vitamina B2, 300 mg; niacina, 2000 mg; pantotenato de calcio, 540 mg; cloruro de colina, 24000 mg, manganeso (sulfato de manganeso), 5000 mg; zinc (sulfato de zinc monohidratado), 23000 mg; cobre (sulfato cúprico pentahidratado), 800 mg; yodo (yoduro de potasio), 600 mg; cobalto (carbonato de cobalto II), 100 mg; selenio (selenito de sodio), 65 mg; *Saccharomyces cerevisiae* (NCYC SC47), 8x10¹¹ UFC.

Diseño experimental y tratamientos

Los corrales se asignaron al azar a uno de dos tratamientos (cuatro corrales por tratamiento, dos con 12 novillas y dos con 13 novillas en cada tratamiento) denominados control (CON) y alternativo (ALT). Los tratamientos difirieron en la composición del pienso suministrado. El pienso del tratamiento CON tuvo una composición característica de los concentrados comerciales para novillas de engorde, mientras que el pienso del tratamiento ALT tuvo la mitad de cereales que el concentrado control y hasta el 73,5% de una variedad de subproductos agroindustriales en su composición (**Tabla 1**). Como resultado, la relación fibra neutro detergente/almidón y el contenido de energía fueron más alta y más bajo en el concentrado ALT en comparación con el concentrado CON: 0,9 vs. 0,6 y 1,36 frente a 1,53 Mcal/kg de energía neta para mantenimiento y engorde según INRA (2007), respectivamente (**Tabla 2**).

Medidas, recogida de muestras y análisis de laboratorio

Las muestras de los piensos recogieron en cada lote de fabricación y cantidades alícuotas de cada lote se combinaron en una única muestra compuesta por cada uno de ambos piensos para el análisis químico. Los contenidos de materia seca, cenizas, proteína bruta, grasa bruta y almidón se determinaron de acuerdo con los procedimientos de AOAC (2006). Los contenidos de fibra neutro detergente, fibra ácido detergente y lignina ácido detergente se determinaron de acuerdo con Van Soest et al. (1991).

El peso vivo promedio por corral se registró dos horas antes del suministro matutino de alimento en la fase preparatoria, al comenzar el experimento y cada 30 días a partir de ahí. El consumo de alimento por corral se calculó como la suma de las cantidades consumidas en el conjunto del período experimental. Con los datos recogidos, se

calculó la ganancia media diaria (kg/d), el consumo promedio de alimento (kg/d) y el índice de conversión (kg/kg) para cada corral.

Tabla 2. Composición química y valor nutritivo de los piensos experimentales (valores sobre peso seco al aire).

	CON	ALT
Composición química		
Humedad	10,2	11,1
Proteína bruta	14,0	14,0
Grasa bruta (hidrólisis ácida previa)	4,7	4,6
Fibra bruta	7,4	9,6
Fibra neutro detergente	21,9	27,4
Fibra ácido detergente	10,4	16,4
Lignina	1,8	3,0
Almidón	34,5	29,4
Cenizas	7,6	7,5
Valor nutritivo		
Energía metabolizable, Mcal/kg	2,61	2,45
Unidades forrajeras carne¹, kg⁻¹	0,945	0,848
Proteína digestible en intestino, g/kg	90	88
Metabolicidad (Qm)²	0,68	0,64
Eficiencia de utilización de la energía		
Mantenimiento (km)³	0,65	0,62
Engorde (kf)⁴	0,51	0,48
Mantenimiento y engorde(kmf)⁵	0,59	0,56

¹1 UFC = 1820 kcal de energía neta para mantenimiento y engorde. ²Calculada como la relación entre la energía metabolizable y la energía bruta. ³Calculada como $km = 0,284 \times Qm + 0,554$. ⁴Calculada como $kf = 0,780 \times Qm + 0,006$. ⁵Calculada como $kmf = (km \times kf \times NP)/(kf + km \times (NP - 1))$; donde NP es el nivel de producción fijado en 1,5.

El día 91 del experimento, tras pesar las novillas, se seleccionaron las tres de cada corral (12 novillas por tratamiento) con el peso más próximo a la mediana del corral y

se les colocó un crotal identificativo para poder hacer un seguimiento en el matadero. A continuación, las novillas se trasladaron en un camión acondicionado para el transporte de animales vivos desde el cebadero a un matadero comercial ubicado a unos 145 km, con un tiempo de trayecto de 1 hora y 40 minutos aproximadamente. Tras un descanso en espera en las instalaciones del matadero de unas 10 horas, las novillas fueron sacrificadas, desangradas y desolladas siguiendo los procedimientos comerciales típicos.

Las canales se pesaron inmediatamente tras el sacrificio (peso de la canal caliente) y se clasificaron por el personal cualificado del matadero según la conformación (S, superior; E, excelente; U, muy buena, R, buena; O, suficiente; P, insuficiente) y el grado de engrasamiento (1, débil; 2, ligero; 3, medio; 4, alto; 5, muy alto) de acuerdo con el sistema europeo para canales bovinas (UE, 2006). A continuación, en los primeros 45 minutos tras el sacrificio, se hicieron las medidas de temperatura (T^a_0), pH (pH_0) y color del magro y la grasa. La temperatura y el pH se midieron en el músculo Longísimo, a nivel de la articulación de la 12^a y 13^a vértebras torácicas, con un pH-metro portátil (Crison® PH25, Hach Lange, Barcelona, España) provisto de una sonda de penetración y un compensador automático de temperatura. El electrodo se insertó a través de una incisión de bisturí de 1 cm en el centro geométrico del músculo en ángulo recto al plano sagital. El electrodo se lavó con agua destilada entre medidas y se recalibró a temperatura ambiente cada cinco muestras, usando soluciones tamponadas estándar a pH 4,0 y pH 7,0. Las medidas de color se hicieron con un espectrofotómetro manual (CM-2600d, Minolta Co., Osaka, Japón) con el modo componente especular excluido, λ : 360-740, $\Delta\lambda$: 10 nm, iluminante estándar D65, 10° de ángulo visual y 8 mm de apertura de medida, que fue estandarizado frente a una lámina blanca ($L^* = 97,78$, $a^* = 0,19$, $b^* = 1,84$) y estuvo provisto de una trampa de luz. El color del magro se midió en tres puntos distintos del músculo Recto abdominal y el de la grasa se midió sobre la grasa caudal, protegida con un plástico transparente de

calidad alimentaria para evitar ensuciar la lente, también por triplicado. Las coordenadas de color se expresaron como L* (luminosidad), a* (índice de rojo) y b* (índice de amarillo) según CIE (1986). Las tres medidas se promediaron para el análisis estadístico y para los cálculos de h* (ángulo hue o grado en que un estímulo de color puede describirse como rojo, verde, amarillo, azul o las combinaciones entre ellos) según la fórmula $h^* = \text{arctangente}(b^* / a^*) \times 360^\circ / (2 \times \pi)$ y C* (croma o viveza de h*) según la fórmula $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{0.5}$. El espesor de la grasa dorsal se midió con un pie de rey en la interfaz de la 12ª y 13ª costillas, sobre el músculo Longísimo, en un punto situado a tres cuartas partes de distancia de la línea ventral de la chuleta, y sobre el músculo Latísimo. Una vez terminadas las mediciones, las canales se cortaron longitudinalmente en dos mitades que se refrigeraron a 4 °C durante 24 horas. Transcurrido este tiempo, las medias canales fueron pesadas de nuevo (peso de la canal fría) y se hicieron nuevas mediciones de temperatura (T_{24}^a) y pH (pH_{24}) como se ha indicado más arriba. El rendimiento comercial se calculó como el porcentaje de peso de la canal fría respecto al peso a la salida de la granja y las pérdidas por refrigeración se calcularon como el porcentaje de peso de la canal fría respecto al peso de la canal caliente. Entonces, el músculo Longísimo se extrajo de la media canal izquierda desde la 5ª a la última vertebra torácica y se cortó en tres secciones que se empaquetaron en bolsas selladas al vacío. Las bolsas se identificaron convenientemente y se enviaron en un vehículo refrigerado a 4°C al Laboratorio de Carnización y Control de Calidad Cárnico del Departamento de Producción Animal de la Universidad de Córdoba.

En el laboratorio, las tres bolsas de cada animal se consideraron muestras que se asignaron al azar a uno de tres tiempos de maduración (7, 21 y 28 días) a 2-4 °C en oscuridad sobre estanterías de acero. Las bolsas se rotaron y cambiaron de posición en las estanterías diariamente para minimizar la influencia de la posición y localización. Tras cada tiempo de maduración, las muestras fueron desembaladas y se determinó

el pH inmediatamente. A continuación, se cortó un filete de aproximadamente 2,5 cm de grosor del extremo caudal de cada muestra para la medición del color y la porción restante se subdividió en submuestras para las determinaciones de las pérdidas por goteo, pérdidas por cocción, resistencia al corte y estabilidad oxidativa.

El análisis del color de la carne se realizó a cuatro tiempos de exposición aeróbica: 0, 24, 48 y 72 horas. Para ello, los filetes recién cortados se colocaron en bandejas de poliestireno que se cubrieron con una lámina de PVC con una permeabilidad al O₂ de 15500 - 16200 cm³/m²/24 h a 23 °C y se colocaron en el refrigerador en la oscuridad a 4 °C durante 30 minutos para permitir la aireación antes de realizar las medidas de L*, a* y b* (hora 0 de medida del color). Se hicieron tres medidas sobre la superficie de la carne inmediatamente tras retirar la envoltura plástica, cambiando la orientación del espectrofotómetro y evitando las áreas de tejido conectivo y grasa intermuscular. Los tres valores de L*, a* y b* se promediaron para el análisis estadístico y para el cálculo de los valores h* y C*, como se ha descrito anteriormente. A continuación, las muestras fueron cubiertas de nuevo y mantenidas en la oscuridad a 4 °C para nuevos análisis de color tras 24, 48 y 72 de exposición. La variación de color entre el momento de la primera exposición aeróbica tras sacar la muestra de la bolsa de vacío (medida a la hora 0) y la siguiente medición a cada tiempo de exposición (x = 24, 48 ó 72 horas) se determinó mediante el coeficiente de diferencia de color, calculado como $\Delta E = [(L^*_0 - L^*_x)^2 + (a^*_0 - a^*_x)^2 + (b^*_0 - b^*_x)^2]^{0.5}$. Además, los datos espectrales se utilizaron para calcular la estabilidad del color superficial como ECS = R630 / R580 (Hunt et al., 1991). Los valores de reflectancia a cuatro longitudes de onda (473, 525, 572 y 700 nm) se usaron para calcular las proporciones de metamioglobina como $MMb = 2,375 \times \{1 - [(A473 - A700) / (A525 - A700)]\} \times 100$, deoximioglobina como $DMb = 1.395 - [(A572 - A700) / (A525 - A700)] \times 100$, y oximioglobina como $OMb = 100 - (AD + AM)$; donde A473, A525, A572 y A700 son los logaritmos comunes de los recíprocos de los valores de reflectancia a 473, 525, 572 y 700 nm, respectivamente (AMSA, 2012).

Para medir las pérdidas por goteo, se tomó un bloque de carne de 20 × 20 × 25 mm de cada muestra al que se recortó la grasa y el tejido conectivo externos. De cada bloque se cortaron tres porciones con las fibras longitudinales el eje más largo de la muestra. Las porciones se pesaron y se suspendieron en ganchos de metal colocados en la cara interior de la tapa de un envase hermético de plástico, cuidando de que no tocaran las paredes del envase y se llevaron a refrigeración a 4° C. A las 24, 48 y 72 horas, cada una de las porciones de cada muestra se agitó cuidadosamente para eliminar el agua de condensación y se volvió a pesar. Las pérdidas por goteo se calcularon como el porcentaje de la diferencia entre los pesos inicial y final respecto el peso inicial.

Las pérdidas por cocinado y la resistencia al corte se midieron en filetes de 5 cm de longitud cortados del extremo caudal de cada muestra. Tras recortar la grasa externa y el epimisio, los filetes se pesaron y se introdujeron individualmente en bolsas de plástico que se sumergieron en un baño de agua (Preciseterm 6000388, J.P. Selecta Co., Barcelona, España), precalentado a 75 °C, hasta que la temperatura interna de los filetes alcanzó 71 °C (AMSA, 2015). La temperatura interna se controló con una sonda termopar insertada en el centro geométrico de la muestra y conectada a un termómetro (HI 98509 Checktemp® Pocket Thermometer, Hanna Instruments, Guipúzcoa, España). Tras el cocinado, los filetes se enfriaron a temperatura ambiente durante 30 minutos, se secaron suavemente con papel de cocina y se volvieron a pesar. Las pérdidas por cocinado se calcularon como el porcentaje de la diferencia entre los pesos antes y después de cocinar respecto al peso antes de cocinar. A continuación, cinco porciones de 1,27 cm de diámetro se cortaron paralelamente la orientación de las fibras, desde el extremo lateral de cada muestra cocinada. La resistencia al corte (kg/cm^2) se midió perpendicularmente a las fibras musculares con un analizador de textura TA.XT-2 (Texture Analyser®, Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido) equipado con un dispositivo de cizallamiento Warner-Bratzler (celda de

carga de 25 kg) y una velocidad de la cruceta de 200 mm/min. La distancia del recorrido hacia abajo fue de 3 cm para garantizar que la carne fuera cortada por completo. Cada porción fue analizada dos veces y los 10 picos de fuerza cortante obtenidos para cada muestra se promediaron para el análisis estadístico.

La estabilidad oxidativa de la carne a cada tiempo de maduración se evaluó en una porción de 10 g de cada muestra mediante el análisis de las sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico con el método de Tarladgis et al. (1960). La curva estándar de 1,1,3,3-tetra-etoxipropano (malonaldehído) se usó para calcular la concentración de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico en las muestras y los resultados se expresaron como mg de malonaldehído/kg de carne.

Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se hicieron con el programa SAS UE 3.8 (SAS Institute Inc., Cary, NC, Estados Unidos de América). En todos los casos, la significación estadística se declaró a $P < 0,05$. Los resultados productivos se analizaron con el procedimiento GLM, usando el corral como unidad experimental y el tratamiento como efecto fijo. Las características de la canal, excepto la clasificación, se analizaron con el procedimiento MIXED. El modelo incluyó el tratamiento como efecto fijo y el corral anidado dentro de tratamiento como efecto aleatorio (St-Pierre, 2007). El pH de la canal caliente (pH_0) se usó como covariable en los análisis de los datos de color muscular. Los datos de conformación de la canal se sometieron a una prueba χ^2 con el procedimiento FREQ. Los datos de la carne se sometieron a un análisis de medidas repetidas con el procedimiento MIXED (Littell et al., 2000). La estructura de la covarianza apropiada para medidas desigualmente espaciadas (simetría compuesta, ANTE(1) o potencia espacial) se eligió para cada variable según el criterio de información bayesiana de Schwarz de ajuste del modelo (mejor cuanto más próximo a cero). El modelo para los análisis de pH, pérdidas por cocinado, resistencia al corte y sustancias reactivas al

ácido tiobarbitúrico incluyó los efectos fijos del tratamiento, el tiempo de maduración y su interacción, el efecto repetido fue el tiempo de maduración, el sujeto de las medidas repetidas fue el animal anidado dentro de tratamiento y corral. El pH al final de cada tiempo de maduración fue la covariable en los análisis de las pérdidas por goteo y resistencia al corte. El modelo para los análisis de los datos de pérdidas por goteo, color y contenidos de pigmentos incluyó los efectos fijos del tratamiento, el tiempo de maduración el tiempo de exposición y las interacciones entre ellos, la medida repetida fue el tiempo de maduración, el sujeto de la medida repetida fue el animal anidado dentro de tratamiento y corral, y el pH al final de cada tiempo de maduración se usó como covariable. Cuando los efectos fijos de los análisis de medidas repetidas fueron significativos, las diferencias entre las medias de mínimos cuadrados se establecieron mediante una prueba t. Las covariables se eliminaron de los modelos cuando no fueron significativas. Cuando fue oportuno se hicieron pruebas de correlación entre variables con el procedimiento CORR.

Resultados y discusión

Las covariables para el color del músculo de la canal, así como para las pérdidas por cocinado y la resistencia al corte (pH_0 y pH al final de cada tiempo de maduración, respectivamente) no fueron significativas ($P > 0,05$) y, consecuentemente, no se introdujeron en los modelos estadísticos finales. La covariable para las pérdidas por goteo (pH al final de cada tiempo de maduración) fue significativa ($P < 0,05$).

Composición de la ración

Desde el punto de vista de los ingredientes, el pienso ALT tuvo la mitad de cereales que el pienso control e incluyó numerosos subproductos agroindustriales, algunos de ellos de elevado contenido en fibra neutro detergente (**Tabla 1**). En cuanto a la composición química, el perfil de ingredientes determinó que la relación fibra neutro detergente/almidón fuera mayor en el pienso ALT (0,9 vs. 0,6) (**Tabla 2**), lo que debió

afectar al patrón de fermentación ruminal (Nozière et al., 2010), así como sería responsable de la menor eficiencia de la energía metabolizable para el mantenimiento y el engorde en dicha ración (**Tabla 2**).

La composición del concentrado se considera uno de los factores determinantes de la contribución de la producción bovina a la emisión de metano (Beauchemin et al., 2008). Los concentrados ricos en almidón tienen un efecto depresor de la producción ruminal de metano a dos niveles: por un lado, estimulan el crecimiento de las bacterias amilolíticas productoras de propionato cuya síntesis resulta en un consumo neto de hidrógeno en el rumen y, por otra parte, causan una reducción del pH ruminal que inhibe a los metanógenos (Hook et al., 2010). Por tanto, cabría esperar que la producción de metano fuera mayor en los animales del tratamiento ALT en comparación con los del tratamiento CON. Aplicando la ecuación (I) de Ellis et al. (2009) a los valores de las **Tablas 2 y 3**, la producción calculada de metano debida al concentrado, expresada en porcentaje de la energía bruta consumida, fue del 3,5 y 4,5% en los tratamientos CON y ALT. No obstante, el valor del tratamiento ALT fue probablemente algo inferior al calculado debido a la suma de dos efectos: la mayor proporción en ácidos grasos poliinsaturados del concentrado ALT (1,8 vs. 1,4% en el concentrado CON, calculado a partir de INRA, 2007) y su contenido en compuestos fenólicos por la inclusión de harina de granilla de uva desgrasada (Shi et al., 2003) y subproductos de camelina (Terpinc et al., 2012). La contribución de los ácidos grasos poliinsaturados a la reducción de la producción de metano es modesta, en torno al 4-5% (Martin et al., 2010), mientras que los compuestos fenólicos pueden reducir la metanogénesis en torno al 10% (Oskoueian et al., 2013). Claramente, sería interesante realizar más estudios para verificar estos efectos.

Hasta la fecha, se han publicado muy pocos estudios en los que se haya investigado el efecto de engordar bovinos de carne con raciones basadas en concentrados en los que los cereales son reemplazados por subproductos agroindustriales (Cuvelier et al.,

2006, Li et al., 2014; Santos-Silva et al., 2020). Otros estudios publicados describen las respuestas observadas cuando parte del concentrado de la ración es reemplazado por ensilados en raciones completas mezcladas suministradas para consumo *ad libitum* (Cooke et al., 2004; Casasús et al., 2012; Bodas et al., 2014; Avilés et al., 2015). En los trabajos de Casasús et al. (2012), Cooke et al. (2004), Cuvelier et al. (2006) y Santos-Silva et al. (2020), los contenidos de almidón en las raciones con contenidos altos y bajos de cereales fueron 41,5 vs. 21,9%, 37,1 vs. 27,4%, 31,7 vs. 14,2% y 41,2 vs. 21,2%, respectivamente. Los contenidos de fibra neutro detergente en las raciones con alto y bajo contenido de cereales de los trabajos de Avilés et al. (2015), Bodas et al. (2014) y Li et al. (2014) fueron 32,7 vs. 23,8%, 28,0 vs. 20,1% y 21 vs. 33%, respectivamente. Por tanto, las raciones experimentales en los estudios mencionados mostraron mayores diferencias en los contenidos de almidón o fibra neutro detergente que las raciones de nuestro trabajo (**Tabla 1**).

Resultados productivos

Excepto en el consumo de alimento y el índice de conversión ($P < 0,05$), no se encontraron otras diferencias ($P > 0,05$) en los resultados productivos (**Tabla 3**). Avilés et al. (2015), Bodas et al. (2014), Casasús, et al. (2012), Cooke et al. (2004), Cuvelier et al. (2006) y Santos-Silva et al. (2020) no encontraron diferencias entre los tratamientos en ninguno de los índices productivos medidos en sus estudios, pero Li et al. (2014) observaron mayor consumo de materia seca y peor índice de conversión en el tratamiento con mayor fibra neutro detergente, en coincidencia con nuestros resultados.

Desafortunadamente, ninguno de esos estudios reportó el consumo calculado de energía neta para mantenimiento y engorde para permitir una comparación directa con nuestros resultados. El hecho de que la ganancia media diaria no difiriera entre tratamientos pero las novillas del tratamiento ALT mostraran una mayor consumo de alimento sugiere que el potencial de crecimiento, y su demanda de energía unida a la

necesaria para el mantenimiento corporal, gobernó el consumo de alimento para alcanzar un consumo de energía acorde a las necesidades, lo que estaría apoyado por el similar consumo de energía neta en ambos tratamientos: 11,52 vs. 11,69 Mcal/d en los tratamientos CON y ALT, respectivamente; a partir de las **Tablas 2 y 3**. Arelovich et al. (2008) hallaron mediante metaanálisis de investigaciones publicadas que el contenido de fibra neutro detergente en las raciones del ganado bovino de engorde (en un rango entre 7,5 y 35,3%) se relaciona positivamente con el consumo de alimento, sin efectos en el consumo de energía neta por kilogramo de materia seca ingerida. Por otra parte, la ganancia diaria de peso del presente trabajo fue inferior a la observada por Avilés et al. (2015) en novillos de raza Limusín, lo que podría explicarse porque dichos autores observaron un mayor consumo de energía metabolizable que nosotros, en línea con el mayor potencial de crecimiento de los novillos frente a las novillas (Bittante et al., 2018).

Tabla 3. Resultados productivos de novillas cruzadas de raza Limusín cebadas con un concentrado convencional (CON) o un concentrado rico en subproductos agroindustriales (ALT).

	CON	ALT	EEM	P
Peso vivo inicial, kg	379	379	2,1	0,92
Peso vivo final, kg	469	470	3,0	0,88
Ganancia de peso, kg/d	0,99	1,01	0,018	0,65
Consumo de pienso, kg/d	7,48	8,53	0,214	<0,001
Índice de conversión, kg/d	7,60	8,48	0,199	0,01
Coste de alimentación (€/animal/período)	130,6	131,2	1,34	0,83
Coste de cebo (€/kg ganancia de peso)	1,46	1,43	0,021	0,63

EEM: Error estándar de la media.

El concentrado ALT fue alrededor de un 12% más barato que el concentrado CON (169,13 vs. 191,88 €/t, calculado con los precios de mercado de materias primas del año 2017), pero no se observaron diferencias en el coste de alimentación en conjunto del período de cebo ni en el coste de la ganancia de peso, ya que el mayor consumo de alimento en el tratamiento ALT compensó el menor precio de su concentrado a una velocidad de crecimiento prácticamente idéntica en ambos tratamientos (**Tabla 3**).

Características de la canal

No se encontraron diferencias entre tratamientos ($P > 0,05$) en ninguna de las características medidas de la canal (**Tabla 4**), en concordancia con las observaciones de Bodas et al. (2014), Cooke et al. (2004), Cuvelier et al. (2006), Li et al. (2014) y Santos-Silva et al. (2020). Sin embargo, Avilés et al. (2015) hallaron mayor grado de engrasamiento y espesor de la grasa subcutánea a nivel del músculo Latísimo, y en consecuencia mayor T^a_0 debido a un mayor aislamiento de la canal, en su tratamiento con bajo contenido de cereal. Por el contrario, las novillas que consumieron la ración rica en cereales del trabajo de Casasús et al. (2012) fueron las que mostraron un mayor grado de engrasamiento. A partir de nuestros resultados y los de trabajos previos, no puede establecerse una relación clara entre la composición de carbohidratos de las raciones de cebo para bovinos (esto es, de las proporciones relativas de sustratos para la síntesis de ácidos grasos en los tejidos) y la deposición de grasa subcutánea que fue sugerida por Rhoades et al. (2007) y Choi et al. (2013).

Las canales tuvieron una conformación buena a muy buena con un grado medio de cobertura grasa (UE, 2006) y los valores de pH_{24} fueron intermedios (Wu et al., 2014). Debido a la ausencia de diferencias entre los valores de pH_0 y pH_{24} entre tratamientos, puede asumirse una respuesta similar de las novillas al estrés ocasionado por el manejo previo al sacrificio y reservas intramusculares de glucógeno comparables en ambos tratamientos (Immonen et al., 2000).

Tabla 4. Características de la canal de novillas cruzadas de raza Limusín cebadas con un concentrado convencional (CON) o un concentrado rico en subproductos agroindustriales (ALT).

Parámetros ¹	CON	ALT	EEM	P
Clasificación	58% R3	33% R3	-	0,22
	42% U3	67% U3		
Peso de la canal caliente, kg	259	266	2,3	0,19
Peso de la canal fría, kg	251	264	2,2	0,19
Rendimiento, %	55,4	56,1	0,43	0,45
Pérdidas por refrigeración, %	1,99	2,00	0,002	0,12
FT1, mm	3,76	5,23	0,042	0,14
FT2, mm	7,44	9,32	0,052	0,07
pH₀	6,62	6,72	0,034	0,17
pH₂₄	5,97	5,79	0,071	0,27
T^a₀, °C	40,2	39,6	0,18	0,12
T^a₂₄, °C	2,9	3,1	0,08	0,18
Color del músculo				
L*	35,4	33,9	0,97	0,58
a*	14,3	16,7	0,68	0,31
b*	12,2	13,3	0,42	0,19
C*	19,2	21,2	0,675	0,29
h*	40,9	38,9	1,184	0,58
Color de la grasa subcutánea				
L*	83,4	86,8	0,96	0,16
a*	0,44	1,00	0,192	0,27
b*	9,43	9,99	0,402	0,50
C*	9,47	10,10	0,400	0,46
h*	85,1	82,5	0,765	0,70

¹FT1: espesor de la grasa sobre el músculo Longísimo; FT2: espesor de la grasa sobre el músculo Latísimo; L*: luminosidad; a*: índice de rojo; b*: índice de amarillo; C*: Cromo; h*: hue. EEM: Error estándar de la media.

La ausencia de diferencias en los valores de T_{24}^a indicarían que el aislamiento de las canales fue similar en ambos tratamientos, lo que unido a la falta de diferencias en los valores de pH_{24} debió permitir una proteólisis muscular comparable, anticipando un efecto nulo de los tratamientos sobre la ternera de la carne (Wu et al., 2014).

El color de las canales fue rosa oscuro, más oscuro y rojizo que el observado por Avilés et al. (2015), mientras que la grasa subcutánea tuvo un color gris claro y fue más brillante que el observado en los trabajos de Casasús et al. (2012) y Avilés et al. (2015) aunque más amarillento que en el segundo. Las diferencias en el color de la canal entre trabajos pueden atribuirse al sexo y la edad de sacrificio de los animales (Araujo et al., 2016). Beriain et al. (2009) hallaron que los valores de C^* y a^* del músculo Recto abdominal, medidos en los primeros 45 minutos postmortem, eran predictores de la estabilidad del color de la carne (expresada como porcentaje de metamioglobina) después de la exposición aeróbica durante 48 horas, en función del tiempo de maduración: C^* tras 3 y 14 días de maduración y a^* tras 7 días de maduración). Sin embargo, en nuestro trabajo no encontramos ninguna correlación significativa ($P > 0,05$) entre los valores de C^* o a^* del músculo Recto abdominal y el porcentaje de metamioglobina tras 7, 21 y 28 días de maduración y tras 24, 48 y 72 horas de exposición aeróbica.

Calidad instrumental de la carne

Los tratamientos no afectaron al pH, las pérdidas por cocinado, la resistencia al corte ni la estabilidad oxidativa de la carne ($P > 0,05$) en ninguno de los tiempos de maduración estudiados, pero el tiempo de maduración influyó en el pH, la resistencia al corte y la estabilidad oxidativa ($P < 0,05$) y tendió a afectar las pérdidas por cocinado ($P = 0,06$) (**Tabla 5**). En línea con nuestros resultados, Avilés et al. (2015) y Santos-Silva et al. (2020) reportaron ausencia de diferencias de las pérdidas por cocinado y la resistencia al corte entre sus tratamientos, un descenso significativo de la resistencia

al corte al avanzar el tiempo de maduración, y pérdidas por cocinado de alrededor del 25% con independencia del tiempo de maduración. Sin embargo, Cuvelier et al. (2006) observaron mayores pérdidas por cocinado y resistencia al corte en el tratamiento bajo en cereales de su trabajo, aunque esta discrepancia podría explicarse porque el tiempo de maduración en el trabajo de Cuvelier et al. (2006) fue solamente de un día.

Tabla 5. Valores de pH final, pérdidas por cocinado (CL, %), resistencia al corte (WBSF, kg/cm²) y sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS, mg malonaldehído/kg de carne) de la carne de novillas cruzadas de raza Limusín cebadas con un concentrado convencional (CON) o un concentrado rico en subproductos agroindustriales (ALT) y madurada durante 7, 21 o 28 días.

Parámetros	Ración (R)						EEM	P		
	CON			ALT				R	M	R × M
	Maduración (M)			Maduración						
7	21	28	7	21	28					
pH	5,90 ^b	6,00 ^a	5,90 ^b	5,92	5,99	5,96	0,012	0,47	<0,01	0,47
CL	26,1	25,5	25,1	25,7	25,3	23,6	0,26	0,21	0,06	0,55
WBSF	6,63 ^a	5,58 ^b	4,99 ^b	6,69 ^a	5,00 ^b	4,62 ^b	0,143	0,38	<0,001	0,45
TBARS	0,58 ^b	0,59 ^{ab}	0,67 ^a	0,56 ^b	0,60 ^{ab}	0,67 ^a	0,012	0,89	<0,01	0,77

^{a,b}Para cada variable, dentro de cada ración, las medias de mínimos cuadrados sin un superíndice común son diferentes por la prueba t a $P < 0,05$. EEM: Error estándar de la media.

El patrón de cambio cuadrático del pH hasta 21 días de maduración (no significativo en el tratamiento ALT) (**Figura 1**) coincidió con Wyrwicz et al. (2016), mientras que la evolución observada en la resistencia al corte (disminución entre 7 y 21 días de maduración y posterior estabilización) (**Figura 2**) no estuvo de acuerdo con Wu et al. (2014), quienes observaron un descenso entre 1 y 7 días de maduración y ausencia de cambios posteriormente hasta 28 días de maduración. La tendencia lineal a una

disminución de las pérdidas por cocinado al avanzar el tiempo de maduración (**Figura 3**) contrasta con los resultados de Boakye y Mittal (1993) y Oliete et al. (2010).

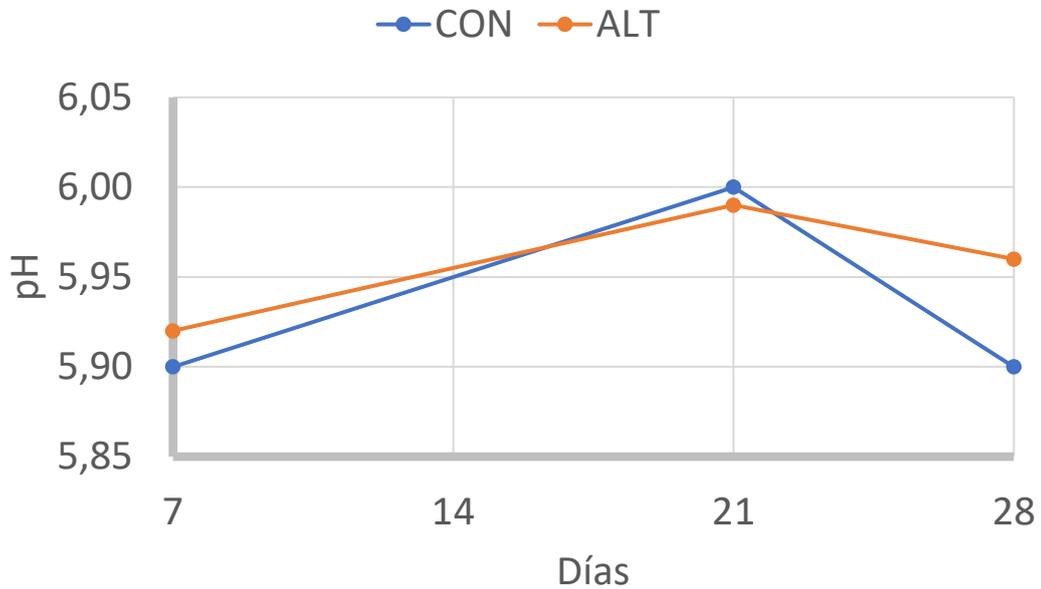


Figura 1. Evolución temporal del pH de la carne de novillas cruzadas de raza Limusín cebadas con un concentrado convencional (CON) o un concentrado rico en subproductos agroindustriales (ALT) y madurada durante 7, 21 o 28 días.

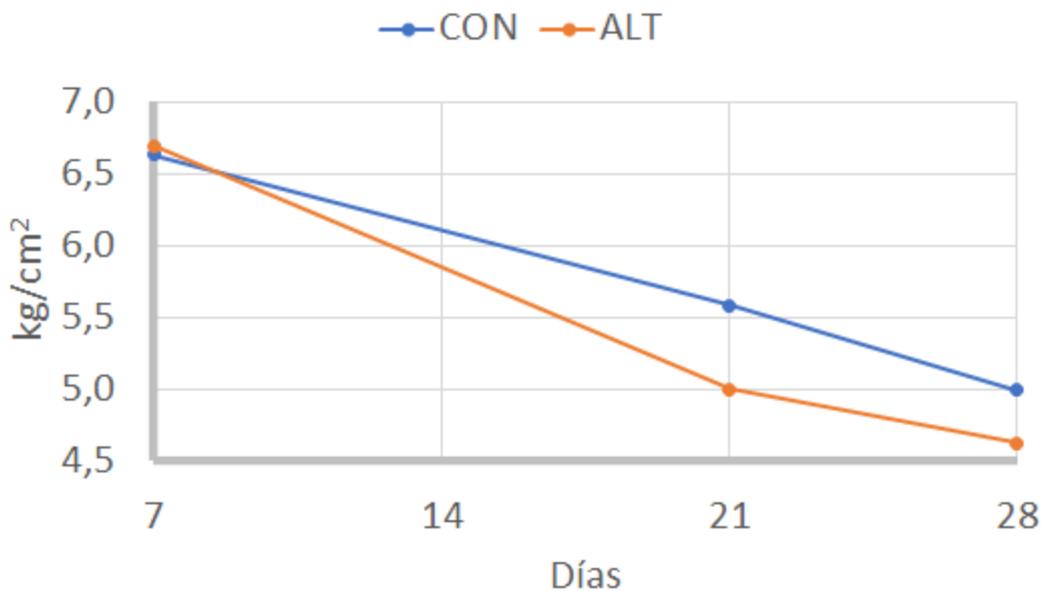


Figura 2. Evolución temporal de la resistencia al corte (WBSF) de la carne de novillas cruzadas de raza Limusín cebadas con un concentrado convencional (CON) o un concentrado rico en subproductos agroindustriales (ALT) y madurada durante 7, 21 o 28 días.

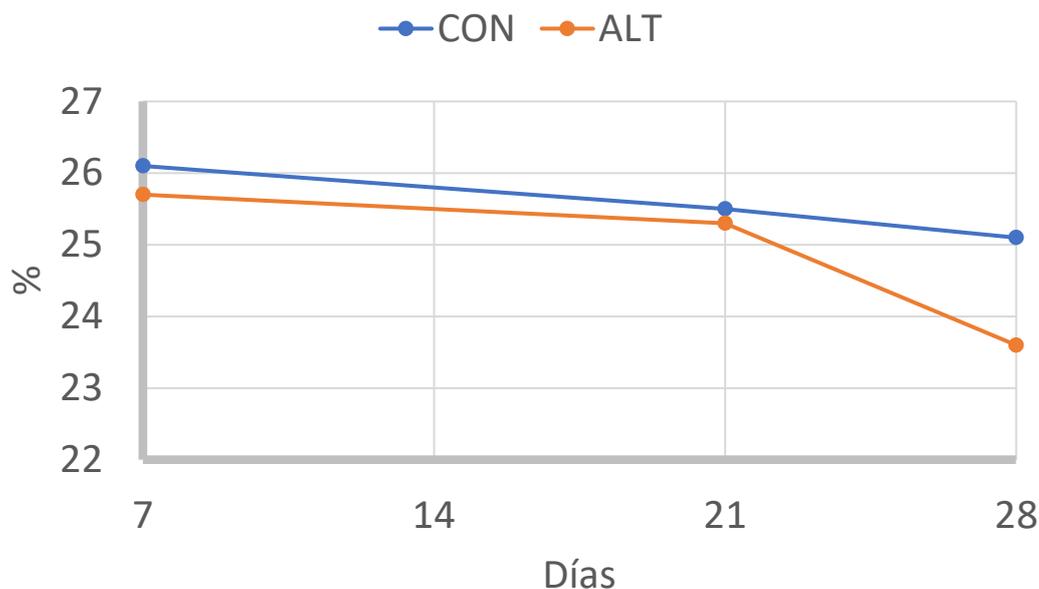


Figura 3. Evolución temporal de las pérdidas por cocinado (CL) de la carne de novillas cruzadas de raza Limusín cebadas con un concentrado convencional (CON) o un concentrado rico en subproductos agroindustriales (ALT) y madurada durante 7, 21 o 28 días.

Para explicar los cambios en las pérdidas por cocinado y la ternura de la carne deben tenerse en cuenta los cambios de las células musculares durante la maduración. La actividad de las enzimas proteolíticas en los músculos durante la maduración degrada las proteínas citoesqueléticas y sarcoplásmicas y debilita la altamente organizada estructura miofibrilar (Wu et al., 2014; Purslow et al., 2016). La estructura proteica debilitada en la carne madurada aumenta la ternura (Wu et al., 2014), pero no puede retener agua durante el cocinado, con la consiguiente pérdida de jugosidad (Hughes et al., 2014). El patrón de degradación de las proteínas musculares depende del pH final de la carne, con los valores más bajos de ablandamiento en las muestras de carne con valores intermedios de pH final (5,80 a 6,19) según Lomiwes et al. (2014). Sin embargo, contrariamente a lo esperado, en nuestro estudio no se observó ninguna correlación ($P > 0,05$) entre el pH final y las pérdidas de cocinado y resistencia al corte, que sí estuvieron positivamente correlacionadas entre sí ($r = 0,39$; $P > 0,05$). Por otra

parte, todos los valores de pH final de nuestro trabajo estuvieron dentro del rango intermedio hallado por Lomiwes et al. (2014). De acuerdo con estos autores y teniendo en cuenta la resistencia promedio al corte a cada tiempo de maduración (Destefanis et al., 2008), desde un punto de vista sensorial, nuestras muestras cocinadas de carne serían percibidas por los consumidores como duras a los 7 días de maduración ($6,7 \pm 1,13 \text{ kg/cm}^2$) y solamente medianamente tiernas tras 21 y 28 días de maduración ($5,3 \pm 0,89$ y $4,1 \pm 0,71 \text{ kg/cm}^2$, respectivamente). Los valores de las pérdidas por cocinado permitirían que la carne de nuestro trabajo fuera clasificada por los consumidores como medianamente jugosa (Lucherker et al., 2016; O'Quinn et al., 2017). Por tanto, bajo las condiciones ensayadas en el presente trabajo, la carne requeriría al menos 28 días de maduración para alcanzar una terneza sensorial aceptable, sin pérdida de jugosidad, tras el cocinado. Finalmente, en coincidencia con Goñi et al. (2007), el color del músculo de la canal en los primeros 45 minutos tras el sacrificio no se correlacionó ($P > 0,05$) con la resistencia al corte a ningún tiempo de maduración.

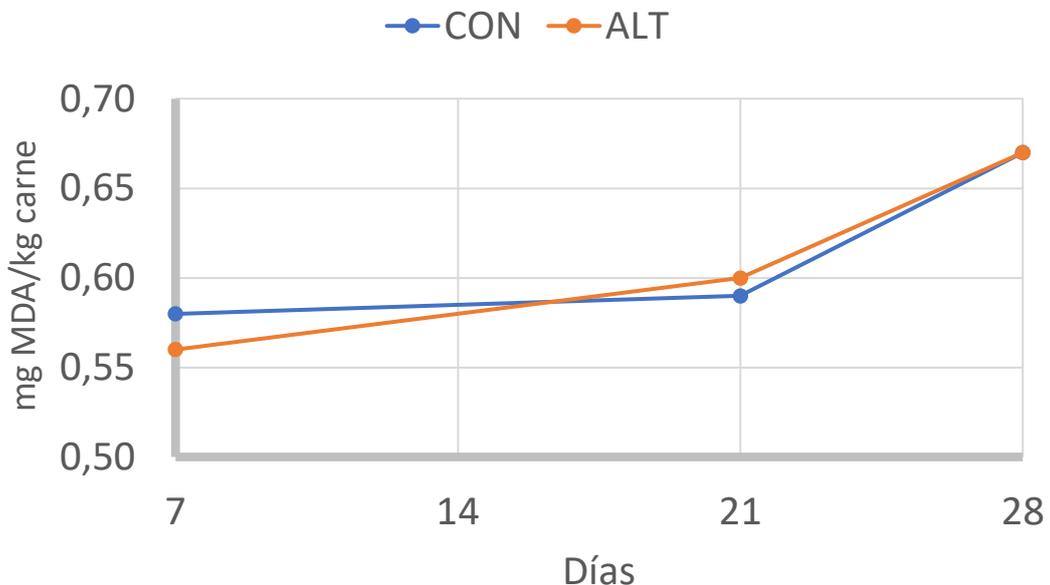


Figura 4. Evolución temporal de las sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS) de la carne de novillas cruzadas de raza Limusín cebadas con un concentrado convencional (CON) o un concentrado rico en subproductos agroindustriales (ALT) y madurada durante 7, 21 o 28 días.

La reducción de la estabilidad oxidativa (aumento de los contenidos de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico) al aumentar el tiempo de maduración (**Figura 4**) estuvo de acuerdo con las observaciones de Mancini y Ramanathan (2014). En concordancia con Insausti et al. (2008), los valores observados de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico estuvieron correlacionados negativamente con a^* ($r = -0,32$; $P < 0,05$). Todos los valores de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico en nuestro trabajo estuvieron bien por debajo del valor 2 que se considera el valor límite de aceptabilidad de la carne oxidada (Campo et al., 2006).

Las pérdidas por goteo no mostraron diferencias entre tratamientos ($P > 0,05$), disminuyeron entre los 7 y 21 días de maduración ($P < 0,05$), con independencia del tiempo de exposición ($P > 0,05$), y aumentaron linealmente con el tiempo de exposición en cada uno de los tiempos de maduración ($P < 0,05$) (**Tabla 6, Figura 5**). La pérdida de agua durante el almacenamiento de la carne se relaciona con la cantidad de agua que interfibrilar que queda libre en el citoplasma y la facilidad con que la misma puede abandonar las células musculares y los haces de fibras musculares a través de los denominados canales de goteo (Hughes et al., 2014). Se ha observado que el tiempo de maduración aumenta la capacidad de retención de agua, probablemente debido a la interrupción de dichos canales de goteo (Farouk et al., 2012). Por tanto, nuestros resultados estuvieron de acuerdo con la bibliografía e indicarían que otros cambios físico-químicos de la carne que tendrían lugar durante la exposición aeróbica facilitan la pérdida de agua. Dado que la capacidad de retención de agua de la carne fresca es importante para la aceptación visual por los consumidores, el tiempo de maduración más apropiado para la carne obtenida bajo las condiciones del presente trabajo sería de 21 o 28 días, con un tiempo de exposición inferior a 48 horas.

Tabla 6. Pérdidas por goteo (DL, %) e índices cromáticos (L*, luminosidad; a*, índice de rojo; b*, índice de amarillo; C*, cromas; h*, hue) de la carne de novillas cruzadas de raza Limusín cebadas con un concentrado convencional (CON) o un concentrado rico en subproductos agroindustriales (ALT), madurada durante 7, 21 o 28 días y expuesta aeróbicamente durante 24, 48 o 72 horas.

Parámetros	Exposición (E)	Ración (R)													
		CON						ALT							
		Maduración (M)			Maduración			EEM			P				
7	21	28	7	21	28	EEM	R	M	E	R x M	R x E	M x E	R x M x E		
DL	24	1,57 ^{aC}	0,78 ^{bC}	0,78 ^{bC}	1,38 ^{aC}	0,69 ^{bC}	0,78 ^{bC}	0,074	0,11	<0,001	<0,001	0,08	0,62	<0,001	0,86
	48	2,93 ^{aB}	1,97 ^{bB}	1,63 ^{bB}	2,54 ^{aB}	1,95 ^{bB}	1,45 ^{bB}								
	72	4,17 ^{aA}	2,67 ^{bA}	2,58 ^{bA}	3,66 ^{aA}	2,57 ^{bA}	2,51 ^{bA}								
L*	24	34,8 ^c	39,0 ^{aA}	37,1 ^{bB}	35,5 ^b	38,2 ^a	37,7 ^{aAB}	0,19	0,92	<0,001	<0,001	0,06	0,94	<0,01	0,98
	48	34,9 ^b	37,7 ^{aAB}	38,6 ^{aA}	35,5 ^c	37,1 ^b	38,6 ^{aA}								
	72	33,7 ^c	37,6 ^{aB}	36,2 ^{bB}	34,3 ^b	37,1 ^a	36,4 ^{aB}								
a*	24	14,4	14,9 ^A	14,6 ^A	14,7	14,6 ^A	15,0 ^A								
	48	14,7 ^a	13,4 ^{bA}	12,4 ^{bB}	14,1	13,3 ^A	13,0 ^B	0,17	0,94	<0,001	<0,001	0,21	0,97	<0,001	0,82
	72	14,7 ^a	11,4 ^{bB}	10,2 ^{bC}	14,0 ^a	11,5 ^{bB}	10,8 ^{bC}								
b*	24	22,1 ^{aA}	16,4 ^{aA}	19,7 ^{bA}	21,3 ^{aA}	16,0 ^{bA}	20,4 ^{aA}								
	48	16,1 ^{aC}	14,9 ^{bB}	16,5 ^{aB}	16,0 ^{bC}	15,0 ^{cB}	17,2 ^{aB}	0,18	0,68	<0,001	<0,001	<0,05	<0,001	<0,001	0,78
	72	18,1 ^{aB}	14,2 ^{cB}	16,1 ^{bB}	18,3 ^{aB}	14,2 ^{cB}	16,7 ^{bB}								
C*	24	22,8 ^A	22,2 ^A	23,4 ^A	23,4 ^{abA}	21,7 ^{bA}	22,4 ^{aA}								
	48	22,1 ^{aA}	20,1 ^{bB}	20,6 ^{bB}	21,7 ^{aA}	20,1 ^{bB}	21,6 ^{aA}	0,18	0,99	<0,001	<0,001	0,76	0,51	0,60	0,47
	72	19,3 ^B	18,3 ^C	19,1 ^C	19,1 ^B	18,4 ^C	19,9 ^B								
h*	24	51,7 ^a	48,0 ^{bB}	51,3 ^{aB}	51,4 ^{aB}	48,2 ^{bB}	51,7 ^{aB}								
	48	51,7 ^a	48,3 ^{bB}	53,5 ^{aB}	52,7 ^{aB}	48,6 ^{bB}	53,1 ^{aB}	0,31	0,87	<0,001	<0,001	0,48	0,99	<0,001	0,65
	72	52,0 ^b	51,6 ^{aA}	58,2 ^{aA}	53,8 ^{bA}	51,6 ^{aA}	57,2 ^{aA}								

^{a, b, c} Para cada variable, dentro de cada tiempo de exposición y ración, las medias de mínimos cuadrados sin un superíndice común son diferentes por la prueba t a P < 0,05. ^{A, B, C} Para cada variable, dentro de cada tiempo de maduración y ración, las medias de mínimos cuadrados sin un superíndice común son diferentes por la prueba t a P < 0,05. EEM: Error estándar de la media.

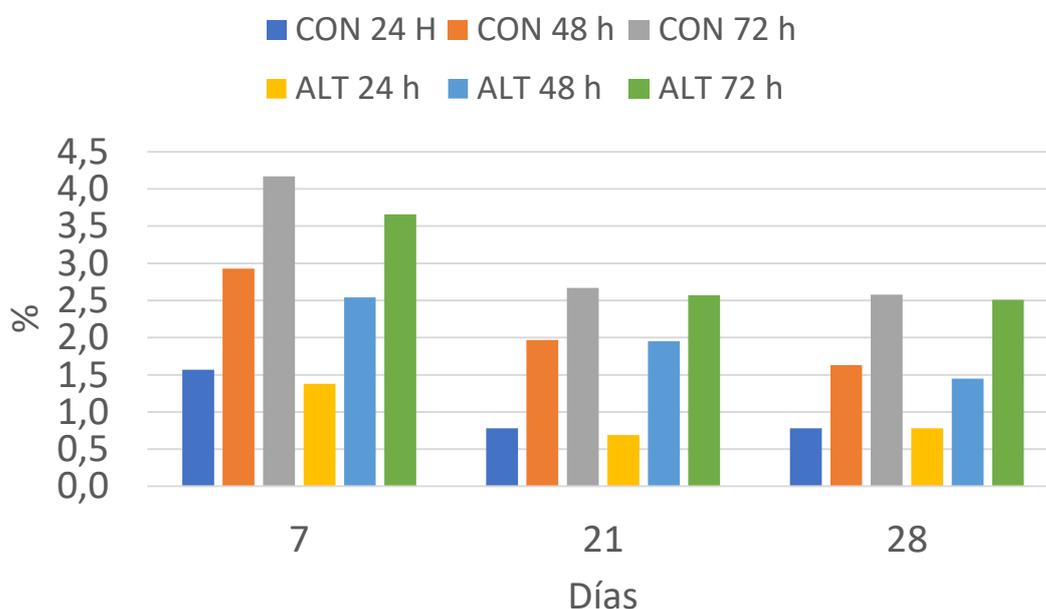


Figura 5. Evolución temporal de las pérdidas por goteo (DL) de la carne de novillas cruzadas de raza Limusín cebadas con un concentrado convencional (CON) o un concentrado rico en subproductos agroindustriales (ALT), madurada durante 7, 21 o 28 días y expuesta aeróbicamente durante 24, 48 o 72 horas.

Las medidas de color (**Tabla 6**) no fueron diferentes entre tratamientos ($P > 0,05$), pero estuvieron influenciados por el tiempo de maduración, el tiempo de exposición y su interacción (**Figura 6**). Los valores de L^* fueron más altos a 21 y 28 días de maduración y, en general, a 24 y 48 horas de exposición. Los valores de a^* fueron menores a 21 y 28 días de maduración ($P < 0,05$), excepto a 24 horas de exposición ($P > 0,05$), y mostraron una evolución lineal decreciente con el tiempo de exposición ($P < 0,05$), excepto a 7 días de maduración ($P > 0,05$), que fue más acentuada a 28 días que a 21 días de maduración. Como resultado, la carne madurada durante 21 y 28 días y expuesta durante más de 24 horas no alcanzó el valor a^* de 14,5, considerado el valor límite para la aceptación por los consumidores (Holman et al., 2017). Los valores de b^* , C^* y h^* mostraron una evolución cuadrática negativa con un mínimo a 21 días de

maduración ($P < 0,05$), pero el efecto del tiempo de exposición difirió entre dichas variables de forma que b^* fue menor a 48 y 72 horas, C^* disminuyó linealmente y h^* aumentó linealmente ($P < 0,05$). Contrariamente a estos resultados, Avilés et al. (2015) encontraron un menor valor de L^* en el tratamiento bajo en cereales de su trabajo y un aumento de a^* y b^* entre 1 y 21 días de maduración, independientemente del tratamiento.

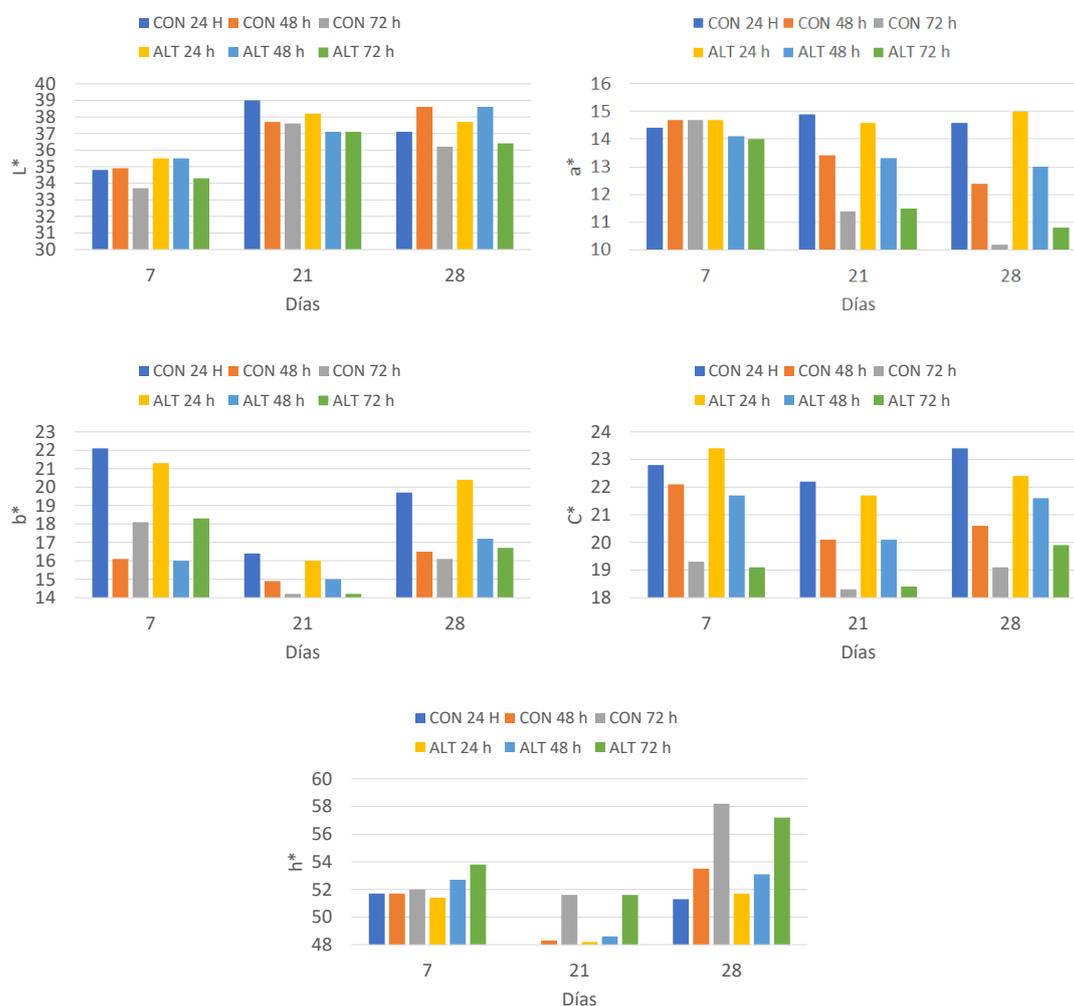


Figura 6. Evolución temporal de las medidas de color (L^* , luminosidad; a^* , índice de rojo; b^* , índice de amarillo; C^* , croma; h^* , hue) de la carne de novillas cruzadas de raza Limusín cebadas con un concentrado convencional (CON) o un concentrado rico en subproductos agroindustriales (ALT), madurada durante 7, 21 o 28 días y expuesta aeróbicamente durante 24, 48 o 72 horas.

Tabla 7. Índice de variación del color (ΔE), estabilidad del color superficial (SCS) y porcentajes de pigmentos (MMb, metamioglobina; DMb, deoximioglobina; OMb, oximioglobina) de la carne de novillas cruzadas de raza Limusín cebadas con un concentrado convencional (CON) o un concentrado rico en subproductos agroindustriales (ALT), madurada durante 7, 21 o 28 días y expuesta aeróbicamente durante 24, 48 o 72 horas.

Parámetros	Exposición (E)	Ración (R)																
		CON						ALT										
		Maduración (M)			Maduración			EEM			P							
7	21	28	7	21	28	7	21	28	EEM	R	M	E	R x M	R x E	M x E	R x M x E		
ΔE	24	9,0 ^{bC}	16,1 ^{aB}	5,71 ^c	7,82 ^{bC}	16,6 ^{aB}	5,74 ^c				0,344	0,71	<0,001	<0,001	0,05	0,86	<0,001	0,93
	48	10,3 ^{bB}	17,7 ^{aA}	6,25 ^c	9,81 ^{bB}	18,0 ^{aA}	6,10 ^c											
	72	12,9 ^{bA}	18,1 ^{aA}	6,83 ^c	12,4 ^{bA}	18,7 ^{aA}	6,79 ^c											
SCS	24	4,24 ^A	4,45 ^A	4,31 ^A	4,30 ^A	4,57 ^A	4,37 ^A				0,052	0,46	<0,001	<0,001	0,89	0,96	0,48	1
	48	4,01 ^A	4,08 ^A	4,15 ^A	4,06 ^A	4,17 ^A	4,34 ^A											
	72	3,32 ^B	3,40 ^B	3,65 ^B	3,37 ^B	3,56 ^B	3,84 ^B											
MMb	24	8,80 ^{bC}	10,4 ^{bC}	13,3 ^{aC}	8,81 ^{bC}	10,4 ^{bC}	13,0 ^{aC}				0,40	0,07	<0,001	<0,001	0,87	0,36	<0,01	0,77
	48	11,6 ^{cB}	13,7 ^{bB}	18,3 ^{aB}	11,8 ^{cB}	14,6 ^{bB}	19,8 ^{aB}											
	72	21,6 ^{cA}	25,0 ^{bA}	27,0 ^{aA}	22,8 ^{cA}	24,9 ^{bA}	27,9 ^{aA}											
DMb	24	14,8 ^{cA}	24,6 ^{aA}	21,3 ^{bA}	15,7 ^{cA}	27,6 ^{aA}	19,7 ^{bA}											
	48	12,8 ^{cAB}	20,5 ^{aB}	20,0 ^{aA}	14,0 ^{bAB}	22,0 ^{aB}	21,8 ^{aA}				0,46	0,26	<0,001	<0,001	0,26	0,35	<0,001	0,57
	72	11,2 ^{bB}	14,6 ^{aC}	16,2 ^{aB}	11,6 ^{bB}	14,7 ^{aC}	14,7 ^{aB}											
OMb	24	76,4 ^{aA}	65,0 ^{bA}	65,4 ^{bA}	75,5 ^{aA}	61,9 ^c	67,3 ^{bA}											
	48	75,6 ^{aA}	65,9 ^{aA}	61,7 ^{cB}	74,1 ^{aA}	63,4 ^b	58,4 ^{cB}				0,50	0,10	<0,001	<0,001	0,50	0,30	<0,001	0,37
	72	67,2 ^{aB}	60,4 ^{bB}	56,8 ^{cC}	65,6 ^{aB}	60,4 ^b	57,4 ^{bB}											

^{a,b,c}Para cada variable, dentro de cada tiempo de exposición y ración, las medias de mínimos cuadrados sin un superíndice común son diferentes por la prueba t a $P < 0,05$. ^{A,B,C}Para cada variable, dentro de cada tiempo de maduración y ración, las medias de mínimos cuadrados sin un superíndice común son diferentes por la prueba t a $P < 0,05$. EEM: Error estándar de la media.

El coeficiente de diferencia del color no difirió entre tratamientos ($P > 0,05$), pero fue mayor a 21 días de maduración y aumentó con el tiempo de exposición a 7 y 21 días de maduración ($P < 0,05$) (Tabla 7, Figura 7). Esta variable ha recibido poca atención en las investigaciones sobre el color de la carne, teniendo en cuenta que mide los efectos combinados de los cambios de L^* , a^* y b^* sobre los cambios totales de color (Hernández et al., 2019). De acuerdo con estos autores, a^* , C^* y la estabilidad del color superficial se relacionan negativamente y el coeficiente de diferencia del color se relaciona positivamente con el porcentaje de metamioglobina, siendo el coeficiente de diferencia de color y la estabilidad del color superficial más sensibles incluso que a^* o C^* a los cambios de aquel. En nuestro trabajo, encontramos correlaciones negativas de a^* , C^* y la estabilidad del color superficial con el porcentaje de metamioglobina ($r = 0,50, -0,49$ y $-0,34$, respectivamente; $P < 0,05$) en concordancia con Hernández et al. (2019) aunque, contrariamente a estos autores, no se observó ninguna correlación ($P > 0,05$) entre el coeficiente de diferencia del color y el porcentaje de metamioglobina.

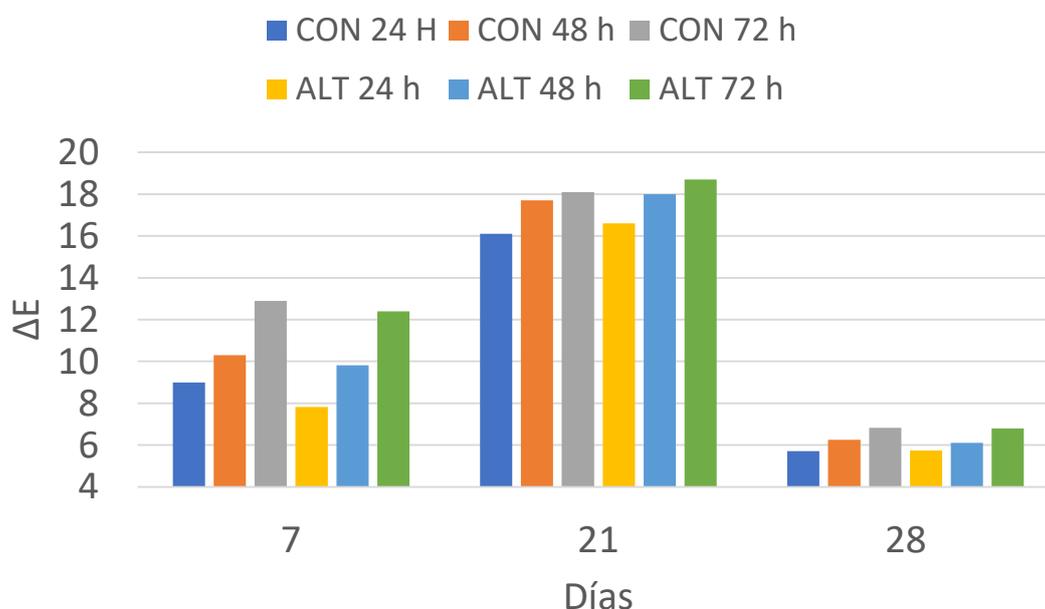


Figura 7. Evolución temporal del índice de variación del color (ΔE) de la carne de novillas cruzadas de raza Limusín cebadas con un concentrado convencional (CON) o un concentrado rico en subproductos agroindustriales (ALT), madurada durante 7, 21 o 28 días y expuesta aeróbicamente durante 24, 48 o 72 horas.

No hubo efecto de los tratamientos sobre la estabilidad del color superficial ($P > 0,05$), que es un parámetro utilizado como indicador de la reducción del color rojo y el aumento del tono amarronado en la superficie de la carne (**Tabla 7**). Contrariamente a Hopkins et al. (2014), en nuestro trabajo no observamos ningún efecto del tiempo de maduración sobre la estabilidad del color superficial ($P > 0,05$), pero su valor disminuyó al aumentar el tiempo de exposición (**Figura 8**), en concordancia con los autores mencionados. Sabiendo que el valor límite de la estabilidad del color superficial de la carne de cordero para la aceptación por los consumidores es 3,3 (Khliji et al., 2010) y suponiendo que dicho valor sea trasladable a la carne de bovino, todas las muestras de carne del presente trabajo fueron aceptables, con independencia del tratamiento y los tiempos de maduración y exposición.

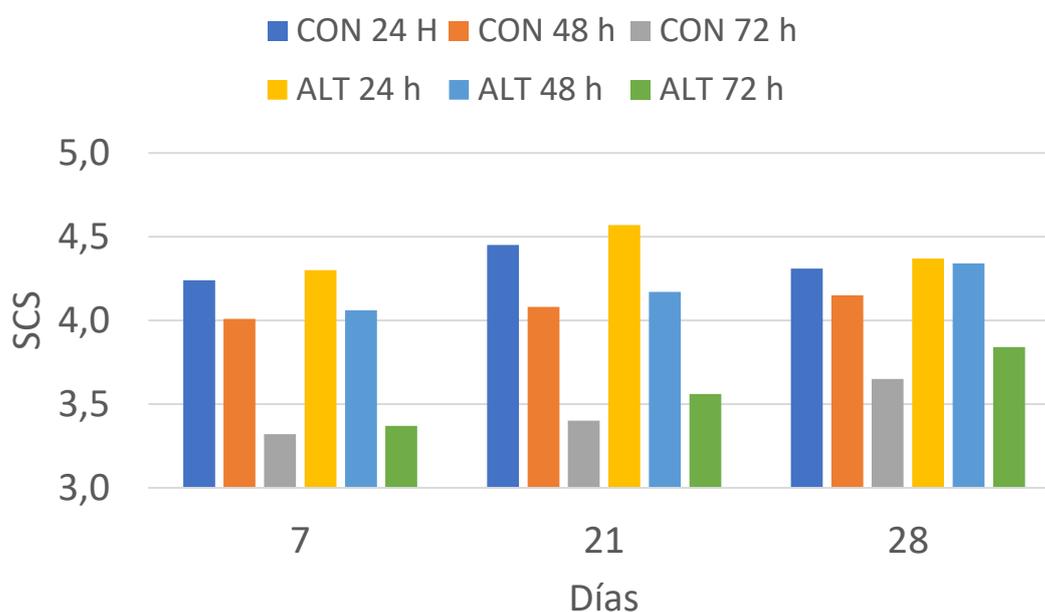


Figura 8. Evolución temporal de la estabilidad del color superficial (SCS) de la carne de novillas cruzadas de raza Limusín cebadas con un concentrado convencional (CON) o un concentrado rico en subproductos agroindustriales (ALT), madurada durante 7, 21 o 28 días y expuesta aeróbicamente durante 24, 48 o 72 horas.

Los porcentajes de metamioglobina, deoximioglobina y oximioglobina no se vieron afectados por los tratamientos ($P > 0,05$), pero evolucionaron de forma lineal positiva, cuadrática positiva y lineal negativa, respectivamente, con el tiempo de maduración ($P < 0,05$), en tanto que, como resultado del tiempo de exposición, el primero aumentó linealmente y los dos restantes disminuyeron linealmente ($P < 0,05$) (**Tabla 7, Figura 9**). Los cambios de la metamioglobina están de acuerdo con las observaciones de Lagerstedt et al. (2011) y Mancini y Ramanathan (2014).

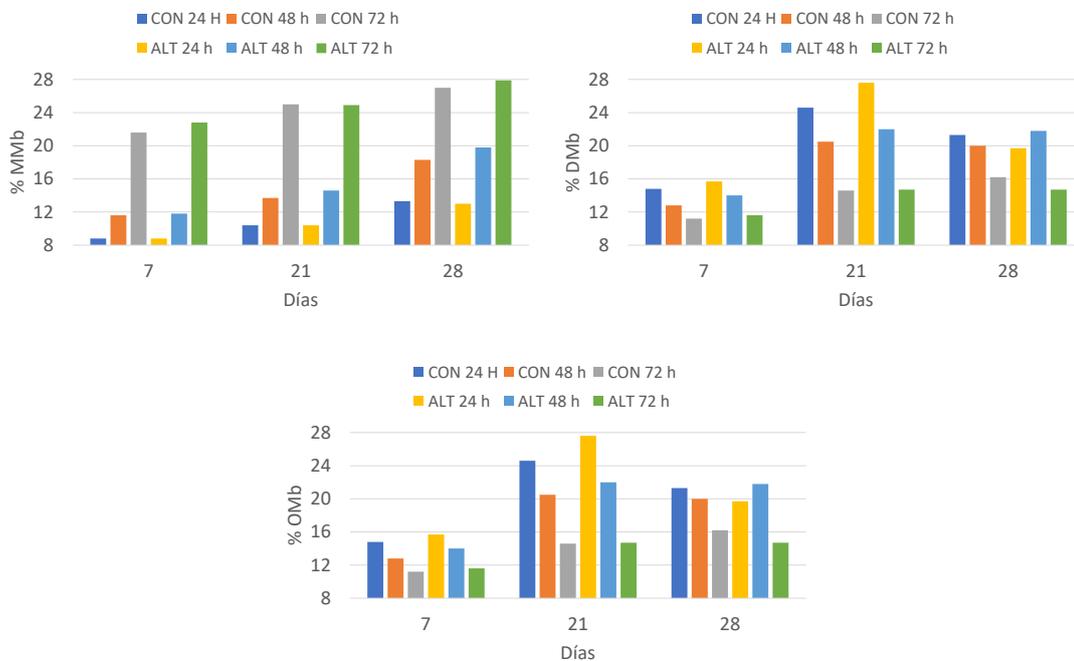


Figura 9. Evolución temporal de los porcentajes de pigmentos (MMb, metamioglobina; DMb, deoximioglobina; OMb, oximioglobina) de la carne de novillas cruzadas de raza Limusín cebadas con un concentrado convencional (CON) o un concentrado rico en subproductos agroindustriales (ALT), madurada durante 7, 21 o 28 días y expuesta aeróbicamente durante 24, 48 o 72 horas.

Conclusiones

El cebo de novillas con un pienso rico en subproductos agroindustriales no tiene efectos negativos sobre los resultados productivos, las características de la canal y la

calidad instrumental de la carne, lo que puede considerarse positivo desde el punto de vista de la sostenibilidad de la producción de carne bovina. Bajo las condiciones ensayadas en el presente trabajo, la maduración de la carne durante más días fue necesaria para lograr menor resistencia al corte y menores pérdidas por goteo. El tiempo de maduración más prolongado mejoró la luminosidad de la carne, pero empeoró el índice de rojo por un aumento del contenido de metamioglobina. Estos dos últimos efectos se agravaron con el tiempo de exposición aeróbica. Puede concluirse que, al margen de la ración suministrada a los bovinos durante el cebo, los tiempos de maduración y exposición aeróbica de la carne y su interacción son importantes factores a tener en cuenta para lograr el equilibrio más favorable de los atributos sensoriales, color y ternura, considerados más relevantes por los consumidores.

CONCLUSIONES GENERALES

Conclusiones generales

En la presente Tesis Doctoral se han obtenidos datos novedosos sobre la composición química y nutricional y el comportamiento digestivo de la semilla y los subproductos de camelina, así como sobre el comportamiento digestivo y los efectos sobre la producción, calidad y conservación de la carne bovina de un pienso rico en subproductos agroindustriales.

Las conclusiones de los resultados obtenidos son:

- 1º) Los productos de camelina estudiados fueron originarios de España y mostraron algunas diferencias químicas con los reportados por autores foráneos, lo que sugiere que las condiciones de cultivo y procesado influyen sobre la composición química y nutricional de estos productos.
- 2º) Los contenidos de glucosinolatos, que son los compuestos antinutricionales más importantes para rumiantes en los productos de camelina, estuvieron muy por debajo los límites máximos tolerables en materias primas para alimentación animal.
- 3º) Las características químicas y nutricionales y el valor energético calculado de la semilla y los subproductos de camelina los convierten en materias primas potencialmente útiles para reemplazar a los productos análogos de la soja y otras materias primas en la alimentación de los rumiantes.
- 4º) La idoneidad de los subproductos de camelina para la alimentación de los rumiantes se vió confirmada por los valores de digestibilidad total aparente y degradabilidad ruminal in situ obtenidos.
- 5º) En este sentido, la digestibilidad de la torta de camelina, y por extensión de la harina, así como la degradabilidad efectiva de la materia seca y la proteína bruta de dichas materias primas fueron elevadas, situándose dentro del rango de valores reportados en la literatura para las materias primas análogas.

- 6^o) Por primera vez, se ofrecen datos sobre la cinética de degradación ruminal in situ de la semilla y la cascarilla de camelina. Estos datos indican que la degradabilidad efectiva de estos productos difiere de los productos análogos de la soja.
- 7^o) Reemplazar los cereales y la harina de soja por una variedad de materias primas, principalmente subproductos agroindustriales ricos en fibra, en el pienso reduce la digestibilidad de la materia seca del mismo, así como la digestibilidad de la materia seca y la proteína de la ración, pero no afecta a la retención de nitrógeno, y tiene efectos positivos sobre el metabolismo ruminal como un pH más estable y menor producción de ácido láctico.
- 8^o) En condiciones de engorde en granja, un pienso para novillas rico en subproductos agroindustriales, bajo en cereales y sin harina de soja, no tiene efectos negativos sobre los resultados productivos, las características de la canal y la calidad instrumental de la carne, lo que puede considerarse positivo desde el punto de vista de la sostenibilidad de la producción de carne bovina.
- 9^o) Al margen de la ración suministrada a los bovinos de engorde, los tiempos de maduración y exposición aeróbica de la carne y su interacción son importantes factores a considerar para lograr el equilibrio más favorable de color y ternura, considerados los atributos sensoriales más relevantes por los consumidores. Al aumentar el tiempo de maduración se reducen la resistencia al corte y las pérdidas por goteo y mejora la luminosidad, pero índice de rojo empeora, tanto más cuanto mayor es el tiempo de exposición aeróbica de la carne.
- 10^o) Para finalizar, los datos obtenidos en la presente Tesis pueden contribuir a la formulación de piensos para el engorde de rumiantes desde una perspectiva más sostenible y dentro de los principios de la economía circular y la bioeconomía.

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

Adewole, D. I., Rogiewicz, A., Dyck, B., & Slominski, B. A. (2016). Chemical and nutritive characteristics of canola meal from Canadian processing facilities. *Animal Feed Science and Technology*, 222, 17–30.

Almeida, F. N., Htoo, J. K., Thomson, J., & Stein, H. H. (2013). Amino acid digestibility in camelina products fed to growing pigs. *Canadian Journal of Animal Science*, 93, 335–343.

AMSA. (2012). Meat color measurement guidelines. American Meat Science Association, Champaign, IL, United States of America.

AMSA. (2015). Research guidelines for cookery, sensory evaluation and instrumental tenderness measurements of meat, 2nd Edition. American Meat Science Association, Champaign, IL, United States of America.

Andrés, S., Jaramillo, E., Bodas, R., Blanco, C., Benavides, J., Fernández, P., González, E., Frutos, J., Belenguer, A., López, S., & Giráldez, F. J. (2018). Grain grinding size of cereals in complete pelleted diets for growing lambs: Effects on ruminal microbiota and fermentation. *Small Ruminant Research*, 159, 38–44.

Angelidis, A., Crompton, L., Misselbrook, T., Yan, T., Reynolds, C. K., & Stergiadis, S. (2019). Evaluation and prediction of nitrogen use efficiency and outputs in faeces and urine in beef cattle. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 280, 1–15.

AOAC. (2006). Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemists. 18th ed. 1st rev. AOAC Int., Gaithersburg, MD, United States of America.

Araujo, J. P., Lorenzo, J. M., Cerqueira, J., Vazquez, J. A., Pires, P., Cantalapiedra, J., & Franco, D. (2016). Minhota breed cattle: carcass characterisation and meat quality affected by sex and slaughter age. *Animal Production Science*, 56, 2086–2092.

Archimède, H., Sauvant, D., & Schmidely, P. (1997). Quantitative review of ruminal and total tract digestion of mixed diet organic matter and carbohydrates. *Reproduction Nutrition Development*, 37, 173–189.

Arelovich, H. M., Abney, C. S., Vizcarra, J. A., & Galyean, M. L. (2008). Effects of dietary neutral detergent fiber on intakes of dry matter and net energy by dairy and beef cattle: analysis of published data. *Professional Animal Scientist*, 24, 375–383.

Armstrong, D. G., & Beever, D. E. (1969). Post-abomasal digestion of carbohydrate in the adult ruminant. *Proceedings of the Nutrition Society*, 28, 121–131.

Avilés Ramírez, C., Peña Blanco, F., Horcada Ibáñez, A., Núñez Sánchez, N., Requena Domenech, F., Guzmán Medina, P., & Martínez Marín, A. L. (2019). Effects of concentrates rich in by-products on growth performance, carcass characteristics and meat quality traits of light lambs. *Animal Production Science*, 59(3), 593–599.

Avilés, C., Martínez, A. L., Domenech, V., & Peña, F. (2015). Effect of feeding system and breed on growth performance, and carcass and meat quality traits in two continental beef breeds. *Meat Science*, 107, 94–103.

Aziza, A. E., Panda, A. K., Quezada, N., & Cherian, G. (2013). Nutrient digestibility, egg quality, and fatty acid composition of brown laying hens fed camelina or flaxseed meal. *Journal of Applied Poultry Research*, 22, 832–841.

Aziza, A. E., Quezada, N., & Cherian, G. (2010). Feeding Camelina sativa meal to meat-type chickens: Effect on production performance and tissue fatty acid composition. *Journal of Applied Poultry Research*, 19, 157–168.

Bacenetti, J., Restuccia, A., Schillaci, G., & Failla, S. (2017). Biodiesel production from unconventional oilseed crops (*Linum usitatissimum* L. and *Camelina sativa* L.) in Mediterranean conditions: Environmental sustainability assessment. *Renewable Energy*, 112, 444–456.

Bibliografía

Bach, A., Calsamiglia, S., & Stern, M. D. (2005). Nitrogen metabolism in the rumen. *Journal of Dairy Science*, 88, E9-E21.

Batajoo, K. K., & Shaver, R. D. (1998). In situ dry matter, crude protein, and starch degradabilities of selected grains and by-product feeds. *Animal Feed Science and Technology*, 71(1-2), 165–176.

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. *Journal of Dairy Science*, 98, 3166–3181.

Beauchemin, K. A., Kreuzer, M., O'mara F, & McAllister T A (2008). Nutritional management for enteric methane abatement: a review. *Animal Production Science*, 48:21–27.

Beever, D. E., & Cottrill, B. R. (1994). Protein systems for feeding ruminant livestock: A European assessment. *Journal of Dairy Science*, 77, 2031–2043.

Belanche, A., Doreau, M., Edwards, J. E., Moorby, J. M., Pinloche, E., & Newbold, C. J. (2012). Shifts in the rumen microbiota due to the type of carbohydrate and level of protein ingested by dairy cattle are associated with changes in rumen fermentation. *The Journal of Nutrition*, 142, 1684–1692.

Belayneh, H. D., Wehling, R. L., Cahoon, E., & Ciftci, O. N. (2015). Extraction of omega-3-rich oil from *Camelina sativa* seed using supercritical carbon dioxide. *The Journal of Supercritical Fluids*, 104, 153–159.

Bergman, E. N. (1990). Energy contributions of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species. *Physiological Reviews*, 70, 567–590.

Berian, M. J., Goñi, M. V., Indurain, G., Sarriés, M. V., & Insausti, K. (2009). Predicting Longissimus dorsi myoglobin oxidation in aged beef based on early post-mortem colour measurements on the carcass as a colour stability index. *Meat Science*, 81, 439–445.

Bernard, M., Cheng, L., Chantelauze, C., Song, Y., Jeanleboeuf, A., Sagot, L., & Cantalapiedra-Hijar, G. (2020). Nitrogen partitioning and isotopic discrimination are affected by age and dietary protein content in growing lambs. *Animal*, 14(5), 942–951.

Berti, M., Gesch, R., Eynck, C., Anderson, J., & Cermak, S. (2016). Camelina uses, genetics, genomics, production, and management. *Industrial Crops and Products*, 94, 690–710.

Bhat, Z. F., Morton, J. D., Mason, S. L., & Bekhit, A. E. D. A. (2018). Role of calpain system in meat tenderness: A review. *Food Science and Human Wellness*, 7, 196–204.

Bittante, G., Cecchinato, A., Tagliapietra, F., Verdiglione, R., Simonetto, A., & Schiavon, S. (2018). Crossbred young bulls and heifers sired by double-muscled Piemontese or Belgian Blue bulls exhibit different effects of sexual dimorphism on fattening performance and muscularity but not on meat quality traits. *Meat Science*, 137, 24–33.

Bittner, C. J., Nuttelman, B. L., Schneider, C. J., Burken, D. B., Johnson, L. J., Mader, T. L., Klopffentein, T. J., & Erickson, G. E. (2016). Effects of increasing soybean hulls in finishing diets with wet or modified distillers grains plus solubles on performance and carcass characteristics of beef steers. *The Professional Animal Scientist*, 32, 777–783.

Blanco, C., Bodas, R., Prieto, N., Andrés, S., López, S., & Giráldez, F. J. (2014). Concentrate plus ground barley straw pellets can replace conventional feeding systems for light fattening lambs. *Small Ruminant Research*, 116(2-3), 137–143.

Bibliografía

Blanco, C., Giráldez, F. J., Prieto, N., Benavides, J., Wattegedera, S., Morán, L., Andrés, S., & Bodas, R. (2015). Total mixed ration pellets for light fattening lambs: effects on animal health. *Animal*, 9(2), 258–266.

Boakye, K., & Mittal, G. S. (1993). Changes in pH and water holding properties of Longissimus dorsi muscle during beef ageing. *Meat Science*, 34, 335–349.

Bodas, R., Posado, R., Bartolomé, D. J., Tabernero de Paz, M. J., Herráiz, P., Rebollo, E., Gómez, L. J., & Garcia, J. J. (2014). Ruminal pH and temperature, papilla characteristics, and animal performance of fattening calves fed concentrate or maize silage-based diets. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 74, 280–285.

BOE (2013). Ley 6/2013, de 11 de junio, de modificación de la Ley 32/2007, de 7 de noviembre, para el cuidado de los animales, en su explotación, transporte, experimentación y sacrificio. *Boletín Oficial del Estado*, 140, 44289–44292.

Böhme, H., Aulrich, K., Schumann, W., & Fischer, K. (1997). Untersuchungen über die Eignung von Leindotterpreßkuchen als Futtermittel 1. Mitteilung: Futterwert und Einsatzgrenzen bei der Fütterung von Schweinen. *Lipid/Fett*, 99, 254–259.

Brand, T. S., Smith, N., & Hoffman, L. C. (2007). Anti-nutritional factors in canola produced in the Western and Southern Cape areas of South Africa. *South African Journal of Animal Science*, 37, 45–50.

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. *Journal of Dairy Science*, 101, 9028–9040.

Briggs, P. K., Hogan, J. P., & Reid, R. L. (1957). Effect of volatile fatty acids, lactic acid and ammonia on rumen pH in sheep. *Australian Journal of Agricultural Research*, 8(6), 674–690.

Budin, J. T., Breene, W. M., & Putnam, D. H. (1995). Some compositional properties of camelina (*Camelina sativa* L. Crantz) seeds and oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 72, 309–315.

Bugge, M. M., Hansen, T., & Klitkou, A. (2016). What is the bioeconomy? A review of the literature. *Sustainability*, 8, 691.

Cadavez, V. A. P., Xavier, C., & Gonzales-Barron, U. (2019). Classification of beef carcasses from Portugal using animal characteristics and pH/temperature decline descriptors. *Meat Science*, 153, 94–102.

Cais-Sokolińska, D., Majcher, M., Pikul, J., Bielińska, S., Czauderna, M., & Wójtowski, J. (2011). The effect of *Camelina sativa* cake diet supplementation on sensory and volatile profiles of ewe's milk. *African Journal of Biotechnology*, 10, 7245–7252.

Callahan, Z. D., Cooper, J. V., & Lorenzen, C. L. (2019). Aging condition and retail display lighting impact retail display life and lipid oxidation of beef biceps femoris steaks. *Meat and Muscle Biology*, 3, 254–264.

Calsamiglia, S., Ferret, A., Reynolds, C. K., Kristensen, N. B., & Van Vuuren, A. M. (2010). Strategies for optimizing nitrogen use by ruminants. *Animal*, 4, 1184.

Campo, M. M., Nute, G. R., Hughes, S. I., Enser, M., Wood, J. D., & Richardson, R. I. (2006). Flavour perception of oxidation in beef. *Meat Science*, 72, 303–311.

Campos, A. F., Pereira, O. G., Ribeiro, K. G., & Santos, S. A. (2014) Impact of replacing soybean meal in beef cattle diets with inactive dry yeast, a sugarcane by-product of ethanol distilleries and sugar mills. *Animal Feed Science and Technology*, 190, 38–46.

Cantalapiedra-Hijar, G., Yáñez-Ruiz, D. R., Martín-García, A. I., & Molina-Alcaide, E. (2009). Effects of forage:concentrate ratio and forage type on apparent digestibility,

Bibliografía

ruminal fermentation, and microbial growth in goats. *Journal of Animal Science*, 87, 622–631.

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. *Journal of Animal Science*, 90, 4042–4054.

Carr, R. A. 1995. Processing the seed and oil. In: Kimber, D., McGregor, D. J. (Eds.), *Brassica Oilseeds. Production and Utilization* (pp. 267–290). CABI, Wallingford, United Kingdom.

Carrasco, C., Travieso, M. D. C., Fuentetaja, A., & de la Torre, P. M. (2017). Performance, carcass and ruminal fermentation characteristics of heifers fed concentrates differing in energy level and cereal type (corn vs. wheat). *Spanish Journal of Agricultural Research*, 15, e0606.

Carro, M. D., Valdés, C., Ranilla, M. J., & González, J. S. (2000). Effect of forage to concentrate ratio in the diet on ruminal fermentation and digesta flow kinetics in sheep offered food at a fixed and restricted level of intake. *Animal Science*, 70(1), 127–134.

Casasús, I., Ripoll, G., & Albertí, P. (2012). Use of maize silage in beef heifers fattening diets: Effects on performance, carcass and meat quality. *ITEA*, 108, 191–206.

Castrillo, C., Mota, M., Van Laar, H., Martín-Tereso, J., Gimeno, A., Fondevila, M., & Guada, J. A. (2013). Effect of compound feed pelleting and die diameter on rumen fermentation in beef cattle fed high concentrate diets. *Animal feed science and technology*, 180(1-4), 34–43.

Castro Bulle, F. C. P., Paulino, P. V., Sanches, A. C., & Sainz, R. D. (2007). Growth, carcass quality, and protein and energy metabolism in beef cattle with different growth potentials and residual feed intakes. *Journal of Animal Science*, 85, 928–936.

Chaney, A. L., & Marbach, E. P. (1962). Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clinical Chemistry*, 8(2), 130–132.

Cherian, G., Campbell, A., & Parker, T. (2009). Egg quality and lipid composition of eggs from hens fed *Camelina sativa*. *Journal of Applied Poultry Research*, 18, 143–150.

Chibisa, G. E., Beauchemin, K. A., & Penner, G. B. (2016). Relative contribution of ruminal buffering systems to pH regulation in feedlot cattle fed either low-or high-forage diets. *Animal*, 10, 1164–1172.

Chibisa, G. E., Beauchemin, K. A., Koenig, K. M., & Penner, G. B. (2020). Optimum roughage proportion in barley-based feedlot cattle diets: Total-tract nutrient digestibility, rumination, ruminal acidosis, short-chain fatty absorption, and gastrointestinal tract barrier function. *Journal of Animal Science*, 98, 1–14.

Choi, S. H., Gang, G. O., Sawyer, J. E., Johnson, B. J., Kim, K. H., Choi, C. W., & Smith, S. B. (2013). Fatty acid biosynthesis and lipogenic enzyme activities in subcutaneous adipose tissue of feedlot steers fed supplementary palm oil or soybean oil. *Journal of Animal Science*, 91, 2091–2098.

CIE (1986). *Colorimetry* (2nd edn). Commission Internationale de l'Éclairage, Vienna, Austria.

Cieslak, A., Stanisiz, M., Wojtowski, J., Pers-Kamczyc, E., Szczechowiak, J., El-Sherbiny, M., & Szumacher-Strabel, M. (2013). *Camelina sativa* affects the fatty acid contents in *M. longissimus* muscle of lambs. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 115, 1258–1265.

Cohen, S. A., & De Antonis, K. M. (1994). Applications of amino acid derivatization with 6-aminoquinolyl-N-hydroxysuccinimidyl carbamate: analysis of feed grains, intravenous solutions and glycoproteins. *Journal of Chromatography A*, 661, 25–34.

Bibliografía

Coleman, S. W., & Moore, J. E. (2003). Feed quality and animal performance. *Field Crops Research*, 84(1-2), 17–29.

Colle, M. J., Richard, R. P., Killinger, K. M., Bohlscheid, J. C., Gray, A. R., Loucks, W. I., Day, R. N., Cochran, A. S., Nasados, J. A., & Doumit, M. E. (2015). Influence of extended aging on beef quality characteristics and sensory perception of steaks from the gluteus medius and longissimus lumborum. *Meat Science*, 110, 32–39.

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. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94, 736–743.

Commun, L., Mialon, M. M., Martin, C., Baumont, R., & Veissier, I. (2009). Risk of subacute ruminal acidosis in sheep with separate access to forage and concentrate. *Journal of Animal Science*, 87(10), 3372–3379.

Cooke, D. W. I., Monahan, F. J., Brophy, P. O., & Boland, M. P. (2004). Comparison of concentrates or concentrates plus forages in a total mixed ration or discrete ingredient format: effects on beef production parameters and on beef composition, colour, texture and fatty acid profile. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 201–216.

Cooper, J. V., Suman, S. P., Wiegand, B. R., Schumacher, L., & Lorenzen, C. L. (2018). Impact of light source on color and lipid oxidative stabilities from a moderately color-stable beef muscle during retail display. *Meat and Muscle Biology*, 2, 102–110.

Correddu, F., Lunesu, M. F., Buffa, G., Atzori, A. S., Nudda, A., Battacone, G., & Pulina, G. (2020). Can agro-industrial by-products rich in polyphenols be advantageously used in the feeding and nutrition of dairy small ruminants?. *Animals*, 10(1), 131.

Cotten, B., Ragland, D., Thomson, J. E., & Adeola, O. (2016). Amino acid digestibility of plant protein feed ingredients for growing pigs. *Journal of Animal Science*, 94, 1073–1082.

CSIRO. (2007). *Nutrient requirements of domesticated ruminants*. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia.

Cuvelier, C., Cabaraux, J. F., Dufrasne, I., Clinquart, A., Hocquette, J. F., Istasse, L., & Hornick, J. L. (2006). Performance, slaughter characteristics and meat quality of young bulls from Belgian Blue, Limousin and Aberdeen Angus breeds fattened with a sugar-beet pulp or a cereal-based diet. *Animal Science*, 82, 125–132.

Czarnik, M., Jarecki, W., & Bobrecka-Jamro, D. (2017). The effects of varied plant density and nitrogen fertilization on quantity and quality yield of *Camelina sativa* L. *Emirates Journal of Food & Agriculture*, 29, 988–993.

De Evan, T., Cabezas, A., de la Fuente, J., & Carro, M. D. (2020). Feeding agroindustrial byproducts to light lambs: influence on growth performance, diet digestibility, nitrogen balance, ruminal fermentation, and plasma metabolites. *Animals*, 10(4), 600.

Dennis, T. S., Suarez-Mena, F. X., Hill, T. M., Quigley, J. D., Schlotterbeck, R. L., & Lascano, G. J. (2018). Effect of replacing corn with beet pulp in a high concentrate diet fed to weaned Holstein calves on diet digestibility and growth. *Journal of Dairy Science*, 101(1), 408–412.

Destefanis, G., Brugiapaglia, A., Barge, M. T., & Dal Molin, E. (2008). Relationship between beef consumer tenderness perception and Warner–Bratzler shear force. *Meat Science*, 78, 153–156.

Bibliografía

Dijkstra, J., Oenema, O., Van Groenigen, J. W., Spek, J. W., Van Vuuren, A. M., & Bannink, A. (2013). Diet effects on urine composition of cattle and N₂O emissions. *Animal*, 7(Suppl 2), 292–302.

Dixon, R. M., & Hosking, B. J. (1992). Nutritional value of grain legumes for ruminants. *Nutrition Research Reviews*, 5, 19–43.

Domenech-Pérez, K. I., Calkins, C. R., Chao, M. D., Semler, M. E., Varnold, K. A., & Erickson, G. E. (2017). Impact of feeding de-oiled wet distillers grains plus solubles on beef shelf life. *Journal of Animal Science*, 95, 709–717.

Doreau, M., & Ferlay, A. (1994). Digestion and utilisation of fatty acids by ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 45, 379–396.

Doreau, M., & Ferlay, A. (2015). Linseed: a valuable feedstuff for ruminants. *Oilseeds and Fats Crops and Lipids*, 22, D611.

Doreau, M., Bauchart, D., & Chilliard, Y. (2011). Enhancing fatty acid composition of milk and meat through animal feeding¹. *Animal Production Science*, 51, 19–29.

Doreau, M., Van Der Werf, H. M. G., Micol, D., Dubroeuq, H., Agabriel, J., Rochette, Y., & Martin, C. (2011). Enteric methane production and greenhouse gases balance of diets differing in concentrate in the fattening phase of a beef production system. *Journal of Animal Science*, 89, 2518–2528.

Downs, W. L., Scott, J. K., Steadman, L. T., & Maynard, E. A. (1960). Acute and sub-acute toxicity studies of thallium compounds. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 21, 399–406.

Dunford, N.T. (2012). Advancements in oil and oilseed processing. In: *Food and Industrial Bioproducts and Bioprocessing* (pp. 115–143). Wiley, Ames, IA, United States of America.

EFSA. (2008). Glucosinolates as undesirable substances in animal feed. *EFSA Journal*, 6, 590.

EFSA. (2016). Erucic acid in feed and food. *EFSA Journal*, 14, e04593.

Ellis, J. L., Kebreab, E., Odongo, N. E., Beauchemin, K., McGinn, S., Nkrumah, J. D., Moore, S. S., Christopherson, R., Murdoch, G. K.; McBride, B. W., & Okine, E. K. (2009). Modeling methane production from beef cattle using linear and nonlinear approaches. *Journal of Animal Science*, 87, 1334–1345.

Erdaw, M. M., & Beyene, W. T. (2018). Anti-nutrients reduce poultry productivity: influence of trypsin inhibitors on pancreas. *Asian Journal of Poultry Science*, 12, 1–12.

Estaún, J., Dosil, J., Al Alami, A., Gimeno, A., & De Vega, A. (2014). Effects of including olive cake in the diet on performance and rumen function of beef cattle. *Animal Production Science*, 54, 1817–1821.

Eynck, C., Falk, K., 2013. Camelina (*Camelina sativa*). In: Singh, B. (Ed.), *Biofuel Crops: Production, Physiology and Genetics* (pp. 369–391). CABI, Fort Valley State University, United States of America.

FAO (2010). *Sustainable diets and biodiversity: Directions and solutions for policy, research and action*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

Farouk, M. M., Mustafa, N. M., Wu, G., & Krsinic, G. (2012). The “sponge effect” hypothesis: An alternative explanation of the improvement in the waterholding capacity of meat with ageing. *Meat Science*, 90, 670–677.

FEDNA. (2019). *Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos (3rd ed.)*, Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, Madrid, España.

Bibliografía

Fimbres, H., Kawas, J. R., Hernández-Vidal, G., Picón-Rubio, J. F., & Lu, C. D. (2002). Nutrient intake, digestibility, mastication and ruminal fermentation of lambs fed finishing ration with various forage levels. *Small Ruminant Research*, 43, 275–281.

Fox, D. G., Tedeschi, L. O., Tylutki, T. P., Russell, J. B., Van Amburgh, M. E., Chase, L. E., Pell, A. N., & Overton, T. R. (2004). The Cornell Net Carbohydrate and Protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. *Animal Feed Science and Technology*, 112(1-4), 29–78.

Frame, D. D., Palmer, M., & Peterson, B. (2007). Use of *Camelina sativa* in the diets of young turkeys. *Journal of Applied Poultry Research*, 16, 381–386.

France, J., & Dijkstra, J. (2005). Volatile fatty acid production. In: Dijkstra, J., Forbes, J. M., France, J. (Eds.), *Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism* (pp. 157–175). CAB International, Wallingford, United Kingdom.

French, P., O'Riordan, E. G., Monahan, F. J., Caffrey, P. J., Mooney, M. T., Troy, D. J., & Moloney, A. P. (2001). The eating quality of meat of steers fed grass and/or concentrates. *Meat Science*, 57(4), 379–386.

Galyean, M. L., & Hubbert, M. E. (2014). Traditional and alternative sources of fiber—Roughage values, effectiveness, and levels in starting and finishing diets. *The Professional Animal Scientist*, 30, 571–584.

Galyean, M. L., Cole, N. A., Tedeschi, L. O., & Branine, M. E. (2016). Board-invited review: efficiency of converting digestible energy to metabolizable energy and reevaluation of the California Net Energy System maintenance requirements and equations for predicting dietary net energy values for beef cattle. *Journal of Animal Science*, 94(4), 1329–1341.

Ganesh, D., & Grieve, D. G. (1990). Effect of roasting raw soybeans at three temperatures on in situ dry matter and nitrogen disappearance in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 73(11), 3222–3230.

García-Rebollar, P., Bacha, F., & Jimeno, V. (2008). Alimentación del ternero en sistemas intensivos de cebo. En: C. Sañudo, V. Jimeno, & M. Cervino (Eds.), *Producción de ganado vacuno de carne y tipos comerciales en España* (pp. 75–88). Schering-Plough, Madrid, España.

Gehring, P. J., & Hammond, P. B. (1967). The interrelationship between thallium and potassium in animals. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, 155, 187–201.

Gerber, P. J., Mottet, A., Opio, C. I., Falcucci, A., & Teillard, F. (2015). Environmental impacts of beef production: Review of challenges and perspectives for durability. *Meat Science*, 109, 2–12.

Gerber, P. J.; Steinfeld, H.; Henderson, B.; Mottet, A.; Opio, C.; Dijkman, J.; Falcucci, A.; Tempio, G. (2013). *Tackling climate change through livestock—A global assessment of emissions and mitigation opportunities*. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.

Gill, M., Smith, P., & Wilkinson, J. M. (2010). Mitigating climate change: the role of domestic livestock. *Animal*, 4, 323–333.

Gimeno, A., Al Alami, A., Abecia, L., De Vega, A., Fondevila, M., & Castrillo, C. (2015). Effect of type (barley vs. maize) and processing (grinding vs. dry rolling) of cereal on ruminal fermentation and microbiota of beef calves during the early fattening period. *Animal Feed Science and Technology*, 199, 113–126.

Glitsch, K. (2000). Consumer perceptions of fresh meat quality: cross-national comparison. *British Food Journal*, 102, 177–194.

Bibliografía

Gómez-Cortés, P., Galisteo, O. O., Avilés Ramírez, C., Peña Blanco, F., de la Fuente, M. A., Núñez Sánchez, N., & Martínez Marín, A. L. (2019). Intramuscular fatty acid profile of feedlot lambs fed concentrates with alternative ingredients. *Animal Production Science*, 59(5), 914–920.

Goñi, M. V., Beriain, M. J., Indurain, G., & Insausti, K. (2007). Predicting longissimus dorsi texture characteristics in beef based on early post-mortem colour measurements. *Meat Science*, 76, 38–45.

González, J., Andrés, S., Rodríguez, C. A., & Alvir, M. R. (2002). In situ evaluation of the protein value of soybean meal and processed full fat soybeans for ruminants. *Animal Research*, 51(6), 455–464.

Górka, P., McKinnon, J. J., & Penner, G. B. (2013). Use of high-lipid by-product pellets as a partial replacement for barley grain and canola meal in finishing diets for beef steers. *Canadian Journal of Animal Science*, 93, 523–528.

Gramkow, J. L., Bittner, C. J., Jolly-Breithaupt, M. L., Burken, D. B., Erickson, G. E., & MacDonald, J. C. (2016). Effects of processing treated corn stover and distillers' grains on performance and total tract digestion of finishing cattle. *Journal of Animal Science*, 94, 3933–3946.

Granja-Salcedo, Y. T., Ribeiro Júnior, C. S., de Jesus, R. B., Gomez-Insuasti, A. S., Rivera, A. R., Messana, J. D., Canesin, R. C., & Berchielli, T. T. (2016). Effect of different levels of concentrate on ruminal microorganisms and rumen fermentation in Nellore steers. *Archives of Animal Nutrition*, 70, 17–32.

Green, T. J., & Innis, S. M. (2000). Low erucic acid canola oil does not induce heart triglyceride accumulation in neonatal pigs fed formula. *Lipids*, 35, 607–612.

Gressley, T. F., Hall, M. B., & Armentano, L. E. (2011). Ruminant nutrition symposium: productivity, digestion, and health responses to hindgut acidosis in ruminants. *Journal of Animal Science*, 89, 1120–1130.

Guerrero, A., Sañudo, C., Albertí, P., Ripoll, G., Campo, M. M., Olleta, J.L., Panea, B., Khlijji, S., & Santolaria, P. (2013). Effect of production system before the finishing period on carcass, meat and fat qualities of beef. *Animal*, 7, 2063–2072.

Hales, K. E., Brown-Brandl, T. M., & Freetly, H. C. (2014). Effects of decreased dietary roughage concentration on energy metabolism and nutrient balance in finishing beef cattle. *Journal of Animal Science*, 92, 264–271.

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. *Journal of Dairy Science*, 94, 4413–4430.

Haque, M. N. (2018). Dietary manipulation: a sustainable way to mitigate methane emissions from ruminants. *Journal of Animal Science and Technology*, 60(1), 1–10.

Harmon, D. L., & Swanson, K. C. (2020). Nutritional regulation of intestinal starch and protein assimilation in ruminants. *Animal*, 14(S1), s17–s28.

Harmon, D. L., Yamka, R. M., & Elam, N. A. (2004). Factors affecting intestinal starch digestion in ruminants: A review. *Canadian Journal of Animal Science*, 84, 309–318.

Henchion, M. M., McCarthy, M., & Resconi, V. C. (2017). Beef quality attributes: A systematic review of consumer perspectives. *Meat Science*, 128, 1–7.

Hernández Salueña, B., Saenz Gamasa, C., Diñeiro Rubial, J. M., & Alberdi Odriozola, C. (2019). CIELAB color paths during meat shelf life. *Meat Science*, 157, 107889.

Bibliografía

Heuzé, V., Tran G., & Lebas, F. (2017). Camelina (*Camelina sativa*) seeds and oil meal. Feedipedia.org. A programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO.

Hocquette, J. F., Ellies-Oury, M. P., Lherm, M., Pineau, C., Deblitz, C., & Farmer, L. (2018). Current situation and future prospects for beef production in Europe. A review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31, 1017–1035.

Hocquette, J. F., Ortigues-Marty, I., & Vermorel, M. (2001). Manipulation of tissue energy metabolism in meat-producing ruminants-review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 14, 720–732.

Holman, B. W., van de Ven, R. J., Mao, Y., Coombs, C. E., & Hopkins, D. L. (2017). Using instrumental (CIE and reflectance) measures to predict consumers' acceptance of beef colour. *Meat Science*, 127, 57–62.

Hook, S. E., Wright, A. D. G., & McBride, B. W. (2010). Methanogens: methane producers of the rumen and mitigation strategies. *Archaea*, Article ID 945785.

Hoover, W. H. (1978). Digestion and absorption in the hindgut of ruminants. *Journal of Animal Science*, 46, 1789–1799.

Hopkins, D. L., Ponnampalam, E. N., Van De Ven, R. J., & Warner, R. D. (2014). The effect of pH decline rate on the meat and eating quality of beef carcasses. *Animal Production Science*, 54, 407–413.

Hou, Y., & Wu, G. (2018). L-Glutamate nutrition and metabolism in swine. *Amino Acids*, 50, 1497–1510.

Hou, Y., Yin, Y., & Wu, G. (2015). Dietary essentiality of “nutritionally non-essential amino acids” for animals and humans. *Experimental Biology and Medicine*, 240, 997–1007.

Hristov, A. N., Domitrovich, C., Wachter, A., Cassidy, T., Lee, C., Shingfield, K. J., Kairenius, P., Davis, J., & Brown, J. (2011). Effect of replacing solvent-extracted canola meal with high-oil traditional canola, high-oleic acid canola, or high-erucic acid rapeseed meals on rumen fermentation, digestibility, milk production, and milk fatty acid composition in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 94, 4057–4074.

Hughes, J. M., Oiseth, S. K., Purslow, P. P., & Warner, R. D. (2014). A structural approach to understanding the interactions between colour, water-holding capacity and tenderness. *Meat Science*, 98, 520–532.

Huhtanen, P., Ahvenjärvi, S., Weisbjerg, M. R., & Nørgaard, P. (2006). Digestion and passage of fibre in ruminants. In: Sejrsen, K., Hvelplund, T., Nielsen M. O. (Eds.), *Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism and Impact of Nutrition on Gene Expression, Immunology and Stress* (pp. 87–138). Wageningen Acad. Publ., Wageningen, The Netherlands.

Huhtanen, P., Cabezas-Garcia, E. H., Krizsan, S. J., & Shingfield, K. J. (2015). Evaluation of between-cow variation in milk urea and rumen ammonia nitrogen concentrations and the association with nitrogen utilization and diet digestibility in lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 98(5), 3182–3196.

Hunt, M. C. (1980). Meat color measurements. *Proceedings of Reciprocal Meat Conference*, 33–41.

Huntington, G. B., Harmon, D. L., & Richards, C. J. (2006). Sites, rates, and limits of starch digestion and glucose metabolism in growing cattle. *Journal of Animal Science*, 84(suppl 13), E14–E24.

Huntington, J. A., & Givens, D. I. (1997). Studies on in situ degradation of feeds in the rumen: 1. Effect of species, bag mobility and incubation sequence on dry matter disappearance. *Animal Feed Science and Technology*, 64(2-4), 227–241.

Bibliografía

Hurtaud, C., & Peyraud, J. L. (2007). Effects of feeding camelina (seeds or meal) on milk fatty acid composition and butter spreadability. *Journal of Dairy Science*, 90, 5134–5145.

Immonen, K., Ruusunen, M., Hissa, K., & Puolanne, E. (2000). Bovine muscle glycogen concentration in relation to finishing diet, slaughter and ultimate pH. *Meat Science*, 55, 25–31.

INRA (2007). *Alimentation des bovins, ovins et caprins*. Editorial Quae, Paris, France.

INRA. (2002). *Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage*. INRA, Paris, France.

INRA. (2018). *Alimentation des bovins, ovins et caprins*. Editorial Quae, Paris, France.

Insausti, K., Beriain, M. J., Lizaso, G., Carr, T. R., & Purroy, A. (2008). Multivariate study of different beef quality traits from local Spanish cattle breeds. *Animal*, 2, 447–458.

ISO. (2000). *Animal feedingstuffs - Determination of starch content - Polarimetric method*. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

Jezierny, D., Mosenthin, R., & Bauer, E. (2010). The use of grain legumes as a protein source in pig nutrition: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 157, 111–128.

Joy, F., McKinnon, J. J., Hendrick, S., Górká, P., & Penner, G. B. (2017). Effect of dietary energy substrate and days on feed on apparent total tract digestibility, ruminal short-chain fatty acid absorption, acetate and glucose clearance, and insulin responsiveness in finishing feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 95, 5606–5616.

Jung, H. G., & Allen, M. S. (1995). Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. *Journal of Animal Science*, 73, 2774–2790.

Kahindi, R. K., Woyengo, T. A., Thacker, P. A., & Nyachoti, C. M. (2014). Energy and amino acid digestibility of camelina cake fed to growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 193, 93–101.

Kakani, R., Fowler, J., Haq, A. U., Murphy, E. J., Rosenberger, T. A., Berhow, M., & Bailey, C. A. (2012). Camelina meal increases egg n-3 fatty acid content without altering quality or production in laying hens. *Lipids*, 47, 519–526.

Kazantzis, G. (2000). Thallium in the environment and health effects. *Environmental Geochemistry and Health*, 22, 275–280.

Kebreab, E., Strathe, A. B., Dijkstra, J., Mills, J. A., Reynolds, C. K., Crompton, L. A., Yan, T., & France, J. (2010). Energy and protein interactions and their effect on nitrogen excretion in dairy cows. In: *Symposium on Energy and Protein Metabolism and Nutrition* (pp. 417–426). Parma, Italy

Khlijji, S., Van de Ven, R., Lamb, T. A., Lanza, M., & Hopkins, D. L. (2010). Relationship between consumer ranking of lamb colour and objective measures of colour. *Meat Science*, 85, 224–229.

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. *Journal of Animal Science*, 95, 4037–4044.

Kim, Y. H. B., Warner, R. D., & Rosenvold, K. (2014). Influence of high pre-rigor temperature and fast pH fall on muscle proteins and meat quality: a review. *Animal Production Science*, 54, 375–395.

King, D. A., Shackelford, S. D., Kalchayanand, N., & Wheeler, T. L. (2012). Sampling and aging effects on beef longissimus color stability measurements. *Journal of Animal Science*, 90, 3596–3605.

Bibliografía

Koknaroglu, H., Loy, D. D., Wilson, D. E., Hoffman, M. P., & Lawrence, J. D. (2005). Factors affecting beef cattle performance and profitability. *The Professional Animal Scientist*, 21, 286–296.

Košir, I. J., Potočnik, T., Štraus, S., & Čeh, B. (2013). Glucosinulates content in camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) seeds and oilcakes with regard to production location. *Hmeljarski bilten Hop Bulletin*, 20, 82–89.

Kouba, M., & Mouroto, J. (2011). A review of nutritional effects on fat composition of animal products with special emphasis on n-3 polyunsaturated fatty acids. *Biochimie*, 93, 13–17.

Kowalska, G., Kowalski, R., Hawlena, J., & Rowiński, R. (2020). Seeds of oilseed rape as an alternative source of protein and minerals. *Journal of Elementology*, 25, 513–522.

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, 729–737.

Krämer, M., Weisbjerg, M. R., Lund, P., Jensen, C. S., & Pedersen, M. G. (2012). Estimation of indigestible NDF in forages and concentrates from cell wall composition. *Animal Feed Science and Technology*, 177(1-2), 40–51.

LaCoste, C., Robinson, B., & Brooks, R. (2001). Uptake of thallium by vegetables: its significance for human health, phytoremediation, and phytomining. *Journal of Plant Nutrition*, 24, 1205–1215.

Lagerstedt, Å., Lundström, K., & Lindahl, G. (2011). Influence of vacuum or high-oxygen modified atmosphere packaging on quality of beef *M. longissimus dorsi* steaks after different ageing times. *Meat Science*, 87, 101–106.

Lawrence, R. D., & Anderson, J. L. (2018). Ruminant degradation and intestinal digestibility of camelina meal and carinata meal compared with other protein sources. *The Professional Animal Scientist*, 34, 10–18.

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

Lee, J. W., Levesque, C. L., & Woyengo, T. A. (2017). Nutritive value of extruded cold-pressed camelina cake for pigs. *Journal of Animal Science*, 95(suppl 2), 126.

Lee, P. A., Pittam, S., & Hill, R. (1984). The voluntary food intake by growing pigs of diets containing 'treated' rapeseed meals or extracts of rapeseed meal. *British Journal of Nutrition*, 52, 159–164.

Leedle, J. A., Bryant, M. P., & Hespell, R. B. (1982). Diurnal variations in bacterial numbers and fluid parameters in ruminal contents of animals fed low-or high-forage diets. *Applied and Environmental Microbiology*, 44(2), 402–412.

Li, L., Zhu, Y., Wang, X., He, Y., & Cao, B. (2014). Effects of different dietary energy and protein levels and sex on growth performance, carcass characteristics and meat quality of F1 Angus x Chinese Xiangxi yellow cattle. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 5, 21.

Littell, R. C., Pendergast, J., & Natarajan, R. (2000). Modelling covariance structure in the analysis of repeated measures data. *Statistics in Medicine*, 19, 1793–1819.

Liu, H. J., Chang, B. Y., Yan, H. W., Yu, F. H., & Liu, X. X. (1995). Determination of amino acids in food and feed by derivatization with 6-aminoquinolyl-N-hydroxysuccinimidyl carbamate and reversed-phase liquid chromatographic separation. *Journal of AOAC International*, 78, 736–743.

Bibliografía

Llewellyn, D. A., Rohwer, G., Norberg, O. S., Kimura, E., Neiberger, J. S., & Fransen, S. C. (2015). Case study: evaluating farm processed canola and camelina meals as protein supplements for beef cattle. *Journal of the NACAA*, 8,2.

Lock, A. L., Harvatin, K. J., Drackley, J. K., & Bauman, D. E. (2006). Concepts in fat and fatty acid digestion in ruminants. *Proceedings of Intermountain Nutrition Conference*, 85–100.

Lomiwes, D., Farouk, M. M., Wu, G., & Young, O. A. (2014). The development of meat tenderness is likely to be compartmentalised by ultimate pH. *Meat Science*, 96, 646–651.

Lonergan, E. H., Zhang, W., & Lonergan, S. M. (2010). Biochemistry of postmortem muscle—Lessons on mechanisms of meat tenderization. *Meat Science*, 86, 184–195.

López-Pedrouso, M., Rodríguez-Vázquez, R., Purriños, L., Oliván, M., García-Torres, S., Sentandreu, M. Á., Lorenzo, J. M., Zapata, C., & Franco, D. (2020). Sensory and physicochemical analysis of meat from bovine breeds in different livestock production systems, pre-slaughter handling conditions and ageing time. *Foods*, 9, 176.

Lucher, L. W., O'Quinn, T. G., Legako, J. F., Rathmann, R. J., Brooks, J. C., & Miller, M. F. (2016). Consumer and trained panel evaluation of beef strip steaks of varying marbling and enhancement levels cooked to three degrees of doneness. *Meat Science*, 122, 145–154.

Ludden, P. A., Cecava, M. J., & Hendrix, K. S. (1995). The value of soybean hulls as a replacement for corn in beef cattle diets formulated with or without added fat. *Journal of Animal Science*, 73, 2706–2711.

Ma, T., Tu, Y., Zhang, N. F., Deng, K. D., & Diao, Q. Y. (2015). Effect of the ratio of non-fibrous carbohydrates to neutral detergent fiber and protein structure on intake,

digestibility, rumen fermentation, and nitrogen metabolism in lambs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 28(10), 1419.

Mackie, R. I., & Gilchrist, F. M. (1979). Changes in lactate-producing and lactate-utilizing bacteria in relation to pH in the rumen of sheep during stepwise adaptation to a high-concentrate diet. *Applied and Environmental Microbiology*, 38(3), 422–430.

Madrid, J., Martínez-Teruel, A., Hernández, F., & Megías, M. D. (1999b). A comparative study on the determination of lactic acid in silage juice by colorimetric, high-performance liquid chromatography and enzymatic methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79(12), 1722–1726.

Madrid, J., Megías, M. D., & Hernández, F. (1999a). Determination of short chain volatile fatty acids in silages from artichoke and orange by-products by capillary gas chromatography. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79(4), 580–584.

Mailer, R. J., McFadden, A., Ayton, J., & Redden, B. (2008). Anti-nutritional components, fibre, sinapine and glucosinolate content, in Australian canola (*Brassica napus* L.) meal. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 85, 937–944.

Makkar, H.P.S. (2013). Towards sustainable animal diets. In: Makkar, H.P.S., & Beever, D. (Eds.), *Optimisation of feed use efficiency in ruminant production systems* (pp.15–32). Food and Agriculture Organization of the United Nations and Asian-Australian Association of Animal Production Societies, Rome, Italy.

Mancini, R. A., & Ramanathan, R. (2014). Effects of postmortem storage time on color and mitochondria in beef. *Meat Science*, 98, 65–70.

MAPAMA. (2019a). *Caracterización del sector vacuno de carne en España*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, España.

MAPAMA. (2019b). *Informe del consumo alimentario en España 2018*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, España.

Bibliografía

MAPAMA. (2019c). Estudio del sector español de cebo de vacuno. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, España.

MAPAMA. (2019d). RENGRAFI. Informe base de datos económica ejercicio económico 2018 vacuno de cebo. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, España.

Marino, C. T., Hector, B., Rodrigues, P. M., Borgatti, L. O., Meyer, P. M., Alves da Silva, E. J., & Ørskov, E. R. (2010). Characterization of vegetables and fruits potential as ruminant feed by *in vitro* gas production technique. *Livestock Research for Rural Development*, 22, 9.

Marino, R., Albenzio, M., Girolami, A., Muscio, A., Sevi, A., & Braghieri, A. (2006). Effect of forage to concentrate ratio on growth performance, and on carcass and meat quality of Podolian young bulls. *Meat Science*, 72, 415–424.

Martínez Marín, A. L., Pérez Hernández, M., Pérez Alba, L., & Gómez Castro, G. (2010). Digestión de los lípidos en los rumiantes: una revisión. *Interciencia*, 35, 240–246.

Matthäus, B. (1997). Antinutritive compounds in different oilseeds. *Lipid/Fett*, 99, 170–174.

Matthäus, B., & Zubr, J. (2000). Variability of specific components in *Camelina sativa* oilseed cakes. *Industrial Crops and Products*, 12, 9–18.

McNeill, D. (2013). Forages for ruminants, cereals for human food and fuel. In: H. P. S. Makkar & D. Beever (Eds.), *Optimisation of feed use efficiency in ruminant production systems* (pp.15–32). Food and Agriculture Organization of the United Nations and Asian-Australian Association of Animal Production Societies, Rome, Italy.

McVeigh, J. M., & Tarrant, P. V. (1982). Glycogen content and repletion rates in beef muscle, effect of feeding and fasting. *The Journal of Nutrition*, 112, 1306–1314.

Meadus, W. J., Duff, P., McDonald, T., & Caine, W. R. (2014). Pigs fed camelina meal increase hepatic gene expression of cytochrome 8b1, aldehyde dehydrogenase, and thiosulfate transferase. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 5, 1.

Mejicanos, G., Sanjayan, N., Kim, I. H., & Nyachoti, C. M. (2016). Recent advances in canola meal utilization in swine nutrition. *Journal of Animal Science and Technology*, 58, 7.

Merchen, N. R., Elizalde, J. C., & Drackley, J. K. (1997). Current perspective on assessing site of digestion in ruminants. *Journal of Animal Science*, 75, 2223–2234.

Mertens, D. R. (1997). Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 80, 1463–1481.

Millen, D. D., Pacheco, R. D. L., da Silva Cabral, L., Cursino, L.L., Watanabe, D. H. M., & Rigueiro, A. L. N. (2016). Ruminal acidosis. In Millen D., De Beni Arrigoni M., Lauritano & Pacheco R. (Eds.), *Rumenology* (pp 127–156). Champaign: Springer.

Min, B. R., Barry, T. N., Attwood, G. T., & McNabb, W. C. (2003). The effect of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate forages: a review. *Animal Feed Science and Technology*, 106, 3–19.

Moharrery, A., Larsen, M., & Weisbjerg, M. R. (2014). Starch digestion in the rumen, small intestine, and hind gut of dairy cows—A meta-analysis. *Animal Feed Science and Technology*, 192, 1–14.

Moloney, A. P., Woods, V. B., & Crowley, J. G. (1998). A note on the nutritive value of camelina meal for beef cattle. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 243–247.

Moriel, P., Nayigihugu, V., Cappellozza, B. I., Gonçalves, E. P., Krall, J. M., Foulke, T., Cammack, K. M., & Hess, B. W. (2011). Camelina meal and crude glycerin as feed

Bibliografía

supplements for developing replacement beef heifers. *Journal of animal science*, 89, 4314–4324.

Moss, A. R., Jouany, J. P., & Newbold, J. (2000). Methane production by ruminants: Its contribution to global warming. *Annales de Zootechnie*, 49, 231–253.

Mossé, J., & Baudet, J. (1983). Crude protein content and aminoacid composition of seeds: variability and correlations. *Plant Foods for Human Nutrition*, 32, 225–245.

Mottet, A., Teillard, F., Boettcher, P., De'Besi, G., & Besbes, B. (2018). Domestic herbivores and food security: current contribution, trends and challenges for a sustainable development. *Animal*, 12, s188–s198.

Muir, P. D., Deaker, J. M., & Bown, M. D. (1998). Effects of forage-and grain-based feeding systems on beef quality: A review. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 41, 623–635.

Murphy, M. R., Baldwin, R. L., & Koong, L. J. (1982). Estimation of stoichiometric parameters for rumen fermentation of roughage and concentrate diets. *Journal of Animal Science*, 55(2), 411–421.

Murray, R. M., Bryant, A. M., & Leng, R. A. (1976). Rates of production of methane in the rumen and large intestine of sheep. *British Journal of Nutrition*, 36, 1–14.

Mwangi, F. W., Charmley, E., Gardiner, C. P., Malau-Aduli, B. S., Kinobe, R. T., & Malau-Aduli, A. E. (2019). Diet and genetics influence beef cattle performance and meat quality characteristics. *Foods*, 8, 648.

Nain, S., Oryschak, M. A., Betti, M., & Beltranena, E. (2015). Camelina sativa cake for broilers: Effects of increasing dietary inclusion from 0 to 24% on tissue fatty acid proportions at 14, 28, and 42 d of age. *Poultry Science*, 94, 1247–1258.

Naumann, H. D., Tedeschi, L. O., Zeller, W. E., & Huntley, N. F. (2017). The role of condensed tannins in ruminant animal production: advances, limitations and future directions. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46, 929–949.

Nolan, J. V., & Dobos, R. C. (2005). Nitrogen transactions in ruminants. In: Dijkstra, J., Forbes, J. M., France, J. (Eds.), *Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism* (pp. 177–206). CAB International, Wallingford, United Kingdom.

Noziere, P., Ortigues-Marty, I., Loncke, C., & Sauvant, D. (2010). Carbohydrate quantitative digestion and absorption in ruminants: from feed starch and fibre to nutrients available for tissues. *Animal*, 4(7), 1057–1074.

NRC. (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7th revised edition. National Academies Press, Washington, DC, United States of America.

NRC. (2005). *Mineral tolerance of animals*. National Academies Press, Washington, DC, United States of America.

O'Quinn, T. G., Legako, J. F., Rathmann, R. J., Brooks, J. C., & Miller, M. F. (2017). Evaluation of the contribution of tenderness, juiciness, and flavor to the overall consumer beef eating experience. *Translational Animal Science*, 2, 26–36.

Oishi, K., Kumagai, H., & Hirooka, H. (2011). Application of the modified feed formulation to optimize economic and environmental criteria in beef cattle fattening systems with food by-products. *Animal Feed Science and Technology*, 165, 38–50.

Oliete, B., Moreno, T., Carballo, J. A., Varela, A., Monserrat, L., & Sánchez, L. (2005). Influence of ageing time on the quality of yearling calf meat under vacuum. *European Food Research and Technology*, 220, 489–493.

Olijhoek, D. W., Løvendahl, P., Lassen, J., Hellwing, A. L. F., Höglund, J. K., Weisbjerg, M. R., Noel, S. J., Mclean, F., Hojber, O., & Lund, P. (2018). Methane production, rumen fermentation, and diet digestibility of Holstein and Jersey dairy cows being

Bibliografía

divergent in residual feed intake and fed at 2 forage-to-concentrate ratios. *Journal of Dairy Science*, 101, 9926–9940.

Orczewska-Dudek, S., & Pietras, M. (2019). The effect of dietary camelina sativa oil or cake in the diets of broiler chickens on growth performance, fatty acid profile, and sensory quality of meat. *Animals*, 9, 734.

Ørskov, E. R., & Grubb, D. A. (1978). Validation of new systems for protein evaluation in ruminants by testing the effect of urea supplementation on intake and digestibility of straw with or without sodium hydroxide treatment. *The Journal of Agricultural Science*, 91(2), 483–486.

Ørskov, E. R., & McDonald, I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *The Journal of Agricultural Science*, 92(2), 499–503.

Oryschak, M. A., Christianson, C. B., & Beltranena, E. (2020). Camelina sativa cake for broiler chickens: effects of increasing dietary inclusion on clinical signs of toxicity, feed disappearance, and nutrient digestibility. *Translational Animal Science*, 4, txaa029.

Oskoueian, E., Abdullah, N., & Oskoueian, A. (2013). Effects of flavonoids on rumen fermentation activity, methane production, and microbial population. *Biomed Research International*, Article ID 349129.

Owens, F. N., Sapienza, D. A., & Hassen, A. T. (2010). Effect of nutrient composition of feeds on digestibility of organic matter by cattle: A review. *Journal of Animal Science*, 88(suppl 13), E151–E169.

Owens, F., Zinn, R. A., & Kim, Y. K. (1986). Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. *Journal of Animal Science*, 63, 1634–1648.

Palarea-Albaladejo, J., Rooke, J. A., Nevison, I. M., & Dewhurst, R. J. (2017). Compositional mixed modeling of methane emissions and ruminal volatile fatty acids

from individual cattle and multiple experiments. *Journal of Animal Science*, 95(6), 2467–2480.

Parke, D. V., & Parke, A. L. (1999). Rapeseed oil. *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition*, 26, 51–61.

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. Y., Kim, J. I., Chapple, C., & Adeola, O. (2015). Nutritional characteristics of camelina meal for 3-week-old broiler chickens. *Poultry Science*, 94, 371–378.

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

Peng, Q., Khan, N. A., Wang, Z., & Yu, P. (2014). Moist and dry heating-induced changes in protein molecular structure, protein subfractions, and nutrient profiles in camelina seeds. *Journal of Dairy Science*, 97, 446–457.

Pethick, D. W., Harper, G. S., & Oddy, V. H. (2004). Growth, development and nutritional manipulation of marbling in cattle: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 44, 705–715.

Porto, M. L., Givisiez, P. E. N., Saraiva, E. P., Costa, F. G. P., Moreira Filho, A. L. B., Andrade, M. F. S., Brandao, P. A., & Guerra, R. R. (2015). Glutamic acid improves body weight gain and intestinal morphology of broiler chickens submitted to heat stress. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 17(3), 355–362.

Provacuno. (2018). Estudio de opinión para el conocimiento de la imagen de la carne de vacuno y los hábitos del consumidor. *Interprofesional de la Carne de Vacuno*, Madrid, España.

Bibliografía

Purslow, P. P., Oiseth, S., Hughes, J., & Warner, R. D. (2016). The structural basis of cooking loss in beef: Variations with temperature and ageing. *Food Research International*, 89, 739–748.

Quezada, N., & Cherian, G. (2012). Lipid characterization and antioxidant status of the seeds and meals of *Camelina sativa* and flax. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 114, 974–982.

Ramanathan, R., & Mancini, R. A. (2018). Role of mitochondria in beef color: A review. *Meat and Muscle Biology*, 2, 309–320.

Ramos, S., Tejido, M. L., Martínez, M. E., Ranilla, M. J., & Carro, M. D. (2009). Microbial protein synthesis, ruminal digestion, microbial populations, and nitrogen balance in sheep fed diets varying in forage-to-concentrate ratio and type of forage. *Journal of Animal Science*, 87(9), 2924–2934.

Restle, J., Faturi, C., Alves Filho, D. C., Brondani, I. L., Silva, J. H. S., Kuss, F., Santos C. V. M., & Ferreira, J. J. (2004). Substituição do grão de sorgo por casca de soja na dieta de novilhos terminados em confinamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33, 1009–1015.

Reynolds, C. K., Tyrrell, H. F., & Reynolds, P. J. (1991). Effects of diet forage-to-concentrate ratio and intake on energy metabolism in growing beef heifers: whole body energy and nitrogen balance and visceral heat production. *The Journal of Nutrition*, 121, 994–1003.

Rhoades, R. D., Sawyer, J. E., Chung, K. Y., Schell, M. L., Lunt, D. K., & Smith, S. B. (2007). Effect of dietary energy source on *in vitro* substrate utilization and insulin sensitivity of muscle and adipose tissues of Angus and Wagyu steers. *Journal of Animal Science*, 85, 1719–1726.

Ribeiro, F. A., Domenech-Pérez, K. I., Contreras-Castillo, C. J., Hart, K., Herrera, N. J., & Calkins, C. R. (2019). Feeding distillers grains to cattle may affect beef tenderness early postmortem. *Journal of Animal science*, 97, 657–668.

Rodriguez-Hernandez, K., & Anderson, J. L. (2018). Evaluation of carinata meal as a feedstuff for growing dairy heifers: Effects on growth performance, rumen fermentation, and total-tract digestibility of nutrients. *Journal of Dairy Science*, 101(2), 1206–1215.

Ross, C. V., Karr, M. L., & Pavey, R. L. (1961). Creep feeding studies with lambs. University of Missouri, College of Agriculture, Agricultural Experiment Station, Research Bulletin n° 772.

Russo, R., & Reggiani, R. (2012). Antinutritive compounds in twelve *Camelina sativa* genotypes. *American Journal of Plant Sciences*, 3, 1408–1412.

Russo, R., & Reggiani, R. (2017). Glucosinolates and sinapine in camelina meal. *Food and Nutrition Sciences*, 8, 1063–1073.

Ryhänen, E. L., Perttilä, S., Tupasela, T., Valaja, J., Eriksson, C., & Larkka, K. (2007). Effect of *Camelina sativa* expeller cake on performance and meat quality of broilers. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87, 1489–1494.

Sadeghi, G. H., Pourreza, J., Samei, A., & Rahmani, H. (2009). Chemical composition and some anti-nutrient content of raw and processed bitter vetch (*Vicia ervilia*) seed for use as feeding stuff in poultry diet. *Tropical Animal Health and Production*, 41(1), 85–93.

Salami, S. A., Luciano, G., O'Grady M. N., Biondy, L., Newbold, C. J., Kerry J. P., & Priolo, A. (2019). Sustainability of feeding plant by-products: a review of the implications for ruminant meat production. *Animal Feed Science and Technology*, 251, 37–55.

Bibliografía

Salas, H., Castillejos, L., & Ferret, A. (2017). Camelina meal, camelina expeller and camelina hulls: nutritional characterization and *in vitro* digestibility. In: XVII Jornadas sobre Producción Animal (pp. 147–146). Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario, Zaragoza, España.

Salas, H., Castillejos, L., Faturi, C., & Ferret, A. (2020). Effects of replacing canola meal with camelina expeller on intake, total tract digestibility, and feeding behavior of beef heifers fed high-concentrate diets. *Translational Animal Science*, 4, txaa050.

Salas, H., Castillejos, L., López-Suárez, M., & Ferret, A. (2019). *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. *Animals*, 9, 1079.

Salem, H. B., Nefzaoui, A., Makkar, H. P. S., Hochleif, H., Salem, I. B., & Salem, L. B. (2005). Effect of early experience and adaptation period on voluntary intake, digestion, and growth in Barbarine lambs given tannin-containing (*Acacia cyanophylla* Lindl. foliage) or tannin-free (oaten hay) diets. *Animal Feed Science and Technology*, 122(1-2), 59–77.

Santos-Silva, J., Alves, S. P., Francisco, A., Portugal, A. P., Almeida, J., Fialho, L., Jeronimo, E., & Bessa, R. J. (2020). Effects of a high-fibre and low-starch diet in growth performance, carcass and meat quality of young Alentejana breed bulls. *Meat Science*, 108191.

Sapp, P. H., Williams, S. E., & McCann, M. A. (1999). Sensory attributes and retail display characteristics of pasture-and/or grain-fed beef aged 7, 14 or 21 days. *Journal of Food Quality*, 22, 257–274.

Sauvant, D., & Noziere, P. (2016). Quantification of the main digestive processes in ruminants: the equations involved in the renewed energy and protein feed evaluation systems. *Animal*, 10, 755–770.

Schader, C., Muller, A., Scialabba, N. E. H., Hecht, J., Isensee, A., Erb, K. H., Smith, P., Makkar, H. P. S., Klocke, P., Leiber, F., Schwegler, P., Stolze, M., & Niggli, U. (2015). Impacts of feeding less food-competing feedstuffs to livestock on global food system sustainability. *Journal of the Royal Society Interface*, 12(113), 20150891.

Schofield, P., Mbugua, D. M., & Pell, A. N. (2001). Analysis of condensed tannins: a review. *Animal Feed Science and Technology*, 91, 21–40.

Schroeder, H. A., & Mitchener, M. (1975). Life-term studies in rats: effects of aluminum, barium, beryllium, and tungsten. *The Journal of Nutrition*, 105, 421–427.

Schuster, A., & Friedt, W. (1998). Glucosinolate content and composition as parameters of quality of Camelina seed. *Industrial Crops and Products*, 7, 297–302.

Shi, F. H., Fang, L., Meng, Q. X., Wu, H., Du, J. P., Xie, X. X., Ren, L. P., Zhou, Z. M., & Zhou, B. (2014). Effects of partial or total replacement of maize with alternative feed source on digestibility, growth performance, blood metabolites and economics in Limousin crossbred cattle. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 27, 1443.

Shi, J., Yu, J., Pohorly, J. E., & Kakuda, Y. (2003). Polyphenolics in grape seeds—biochemistry and functionality. *Journal of Medicinal Food*, 6(4), 291–299.

Siddons, R. C., & Paradine, J. (1983). Protein degradation in the rumen of sheep and cattle. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 34(7), 701–708.

Silva, A. T., Greenhalgh, J. F. D., & Ørskov, E. R. (1989). Influence of ammonia treatment and supplementation on the intake, digestibility and weight gain of sheep and cattle on barley straw diets. *Animal Science*, 48(1), 99–108.

Sinclair, L. A., Garnsworthy, P. C., Newbold, J. R., & Buttery, P. J. (1995). Effects of synchronizing the rate of dietary energy and nitrogen release in diets with a similar carbohydrate composition on rumen fermentation and microbial protein synthesis in sheep. *The Journal of Agricultural Science*, 124(3), 463–472.

Bibliografía

Singh, U., & Jambunathan, R. (1982). Distribution of seed protein fractions and amino acids in different anatomical parts of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and pigeonpea (*Cajanus cajan* L.). *Plant Foods for Human Nutrition*, 31, 347–354.

Slyter, L. L., Satter, L. D., & Dinius, D. A. (1979). Effect of ruminal ammonia concentration on nitrogen utilization by steers. *Journal of Animal Science*, 48(4), 906–912.

Smit, M. N., & Beltranena, E. (2017). Effects of feeding camelina cake to weaned pigs on safety, growth performance, and fatty acid composition of pork. *Journal of Animal Science*, 95, 2496–2508.

Sniffen, C. J., O'connor, J. D., Van Soest, P. J., Fox, D. G., & Russell, J. B. (1992). A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *Journal of Animal science*, 70, 3562–3577.

Soulat, J., Monteils, V., Léger, S., & Picard, B. (2019). Identification of key rearing factors to manage cattle carcass fatness and conformation scores during the fattening period. *Italian Journal of Animal Science*, 18, 1192–1204.

Stedman, J. A., & Hill, R. (1987). Voluntary food intake in a limited time of lambs and calves given diets containing rapeseed meal from different types and varieties of rape, and rapeseed meal treated to reduce the glucosinolate concentration. *Animal Science*, 44, 75–82.

Steppa, R., Cieślak, A., Szumacher-Strabel, M., Bielińska-Nowak, S., Bryszak, M., Stanisław, M., & Szkudelska, K. (2017). Blood serum metabolic profile and fatty acid composition in sheep fed concentrates with *Camelina sativa* cake and distillers dried grains with solubles. *Small Ruminant Research*, 156, 20–26.

St-Pierre, N. R. (2007). Design and analysis of pen studies in the animal sciences. *Journal of dairy science*, 90, E87–E99.

Suman, S. P., & Joseph, P. (2013). Myoglobin chemistry and meat color. *Annual Review of Food Science and Technology*, 4, 79–99.

Supapong, C., Cherdthong, A., Seankamsorn, A., Khonkhaeng, B., Wanapat, M., Gunun, N., Gunun, P., Chanjula, P., & Polyorach, S. (2017). Effect of *Delonix regia* seed meal supplementation in Thai native beef cattle on feed intake, rumen fermentation characteristics and methane production. *Animal Feed Science and Technology*, 232, 40–48.

Suttle, N. F. (2010). *Mineral nutrition of livestock* 4th edition. CABI, Wallingford, Oxfordshire, United Kingdom.

Swanson, K. C., Carlson, Z. E., Ruch, M. C., Gilbery, T. C., Underdahl, S. R., Keomanivong, F. E., Bauer, M. L., & Islas, A. (2017). Influence of forage source and forage inclusion level on growth performance, feeding behavior, and carcass characteristics in finishing steers. *Journal of Animal Science*, 95, 1325–1334.

Szczepaniak, W., Grzebisz, W., Barłóg, P., & Przygocka-Cyna, K. (2017). Mineral composition of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) seeds as a tool for oil yield prognosis. *Journal of Central European Agriculture*, 18, 196–213.

Szumacher-Strabel, M., Cieślak, A., Zmora, P., Pers-Kamczyc, E., Bielińska, S., Stanisław, M., & Wójtowski, J. (2011). Camelina sativa cake improved unsaturated fatty acids in ewe's milk. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91, 2031–2037.

Tarladgis, B. G., Watts, B. M., Younathan, M. T., & Dugan, L. (1960). A distillation method for the quantitative determination of malonaldehyde in rancid foods. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 37, 44–48.

Tayengwa, T., Chikwanha, O. C., Dugan, M. E., Mutsvangwa, T., & Mapiye, C. (2020). Influence of feeding fruit by-products as alternative dietary fibre sources to wheat bran on beef production and quality of Angus steers. *Meat Science*, 161, 107969.

Bibliografía

Terpinc, P., Polak, T., Makuc, D., Ulrih, N. P., & Abramovič, H. (2012). The occurrence and characterisation of phenolic compounds in *Camelina sativa* seed, cake and oil. *Food Chemistry*, 131(2), 580–589.

Terradillos, A., Arana, M. J., & García, A. (2004). Alimentación del ganado. Manual práctico para explotaciones lecheras y ganadería ligada a la tierra. Junta de Andalucía, Sevilla, España.

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. *Archives of Animal Nutrition*, 66, 402–415.

Traxler, M. J., Fox, D. G., Van Soest, P. J., Pell, A. N., Lascano, C. E., Lanna, D. P. D., Vélez, M., & Flores, A. (1998). Predicting forage indigestible NDF from lignin concentration. *Journal of Animal Science*, 76, 1469–1480.

Tripathi, M. K., & Mishra, A. S. (2007). Glucosinolates in animal nutrition: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 132, 1–27.

Troy, D. J., & Kerry, J. P. (2010). Consumer perception and the role of science in the meat industry. *Meat Science*, 86, 214–226.

Turgeon, O. A., Szasz, J. I., Koers, W. C., Davis, M. S., & Vander Pol, K. J. (2010). Manipulating grain processing method and roughage level to improve feed efficiency in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 88, 284–295.

UE. (2006). REGLAMENTO (CE) No 1183/2006 DEL CONSEJO de 24 de julio de 2006 sobre el modelo comunitario de clasificación de las canales de vacuno pesado. *Diario Oficial de la Unión Europea*, L214, 1–6.

UE. (2010). Directiva 2010/63/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de septiembre de 2010, relativa a la protección de los animales utilizados para fines científicos. *Diario Oficial de la Unión Europea*, L276, 33–79.

UE. (2013). Reglamento (UE) n ° 1275/2013 de la Comisión, de 6 de diciembre de 2013, por el que se modifica el anexo I de la Directiva 2002/32/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que respecta a los niveles máximos de arsénico, cadmio, plomo, nitritos, esencia volátil de mostaza e impurezas botánicas perjudiciales. Diario Oficial de la Unión Europea, L328, 86–92.

UE. (2015). Reglamento (UE) 2015/186 de la Comisión, de 6 de febrero de 2015, por el que se modifica el anexo I de la Directiva 2002/32/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que respecta a los niveles máximos de arsénico, flúor, plomo, mercurio, endosulfán y semillas de Ambrosia. Diario Oficial de la Unión Europea, L31, 11–17.

UE. (2017). REGLAMENTO (UE) 2017/1017 DE LA COMISIÓN de 15 de junio de 2017 por el que se modifica el Reglamento (UE) n° 68/2013 relativo al Catálogo de materias primas para piensos. Diario Oficial de la Unión Europea, L159, 48–119.

Van der Walt, J. G., & Meyer, J. H. F. (1988). Protein digestion in ruminants. *South African Journal of Animal Science*, 18, 30–41.

Van Eenaeme, C., Istasse, L., Gabriel, A., Clinquart, A., Maghuin-Rogister, G., & Bienfait, J. M. (1990). Effects of dietary carbohydrate composition on rumen fermentation, plasma hormones and metabolites in growing-fattening bulls. *Animal Science*, 50, 409–416.

Van Soest, P. V., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74, 3583–3597.

Van Zanten, H. H., Van Ittersum, M. K., & De Boer, I. J. (2019). The role of farm animals in a circular food system. *Global Food Security*, 21, 18–22.

Bibliografía

Vanzant, E. S., Cochran, R. C., & Titgemeyer, E. C. (1998). Standardization of in situ techniques for ruminant feedstuff evaluation. *Journal of Animal Science*, 76(10), 2717–2729.

Varga, G. A., & Hoover, W. H. (1983). Rate and extent of neutral detergent fiber degradation of feedstuffs in situ. *Journal of Dairy Science*, 66(10), 2109–2115.

Vargas-Rincón, C., Sánchez-León, G., & Jiménez-Morales, P. (2013). La producción de metabolitos secundarios en la familia Brassicaceae. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 9, 282–305.

Vermorel, M., Hocouemiller, R., Evrard, J., Anglaret, Y., Leoty, C., Martinaud, M., & Souchet, R. (1987). Valorization of rapeseed meal. 5. Effects of sinapine and other phenolic compounds on food intake and nutrient utilization in growing rats. *Reproduction Nutrition Développement*, 27, 781–790.

Vollmann, J., Grausgruber, H., Stift, G., Dryzhnyuk, V., & Lelley, T. (2005). Genetic diversity in camelina germplasm as revealed by seed quality characteristics and RAPD polymorphism. *Plant Breeding*, 124, 446–453.

Vollmann, J., Moritz, T., Kargl, C., Baumgartner, S., & Wagentristl, H. (2007). Agronomic evaluation of camelina genotypes selected for seed quality characteristics. *Industrial Crops and Products*, 26, 270–277.

Wadhwa, M., Bakshi, M. P., & Makkar, H. P. (2015). Waste to worth: fruit wastes and by-products as animal feed. *CAB Reviews*, 10, 31.

Wanapat, M., Gunun, P., Anantasook, N., & Kang, S. (2014). Changes of rumen pH, fermentation and microbial population as influenced by different ratios of roughage (rice straw) to concentrate in dairy steers. *The Journal of Agricultural Science*, 152(4), 675–685

Wang, S., Kreuzer, M., Braun, U., & Schwarm, A. (2017). Effect of unconventional oilseeds (safflower, poppy, hemp, camelina) on *in vitro* ruminal methane production and fermentation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97, 3864–3870.

Waraich, E. A., Ahmed, Z., Ahmad, R., Saifullah, M. Y. A., Naeem, M. S., & Rengel, Z. (2013). Camelina sativa, a climate proof crop, has high nutritive value and multiple-uses: A review. *Australian Journal of Crop Science*, 7, 1551–1559.

Warner, R. D. (2017). The eating quality of meat—IV water-holding capacity and juiciness. In: Lawrie's Meat Science (pp. 419–459). Woodhead Publishing, Sawston, United Kingdom.

Weisbjerg, M. R., Hvelplund, T., & Soegaard, K. (2004). Prediction of NDF digestibility based on assumptions about true digestibility and endogenous loss of NDS. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 13, 243–246.

Weiss, C. P., Gentry, W. W., Meredith, C. M., Meyer, B. E., Cole, N. A., Tedeschi, L. O., McCollum, F. T., & Jennings, J. S. (2017). Effects of roughage inclusion and particle size on digestion and ruminal fermentation characteristics of beef steers. *Journal of Animal Science*, 95, 1707–1714.

Weiss, W. P., Conrad, H. R., & Pierre, N. S. (1992). A theoretically-based model for predicting total digestible nutrient values of forages and concentrates. *Animal Feed Science and Technology*, 39, 95–110.

Weiss, W. P., Willett, L. B., St-Pierre, N. R., Borger, D. C., McKelvey, T. R., & Wyatt, D. J. (2009). Varying forage type, metabolizable protein concentration, and carbohydrate source affects manure excretion, manure ammonia, and nitrogen metabolism of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 92, 5607–5619.

Wilkinson J. M. (2011). Re-defining efficiency of feed use by livestock. *Animal*, 5, 1014–1022.

Bibliografía

Williams, S. R. O., Hannah, M., Jacobs, J. L., Wales, W. J., & Moate, P. J. (2019). Volatile fatty acids in ruminal fluid can be used to predict methane yield of dairy cows. *Animals*, 9(12), 1006.

Winterholler, S. J., Lalman, D. L., Dye, T. K., McMurphy, C. P., & Richards, C. J. (2009). *In situ* ruminal degradation characteristics of by-product feedstuffs for beef cattle consuming low-quality forage. *Journal of Animal Science*, 87, 2996–3002.

Wohlt, J. E., Clark, J. H., & Blaisdell, F. S. (1976). Effect of sampling location, time, and method of concentration of ammonia nitrogen in rumen fluid. *Journal of Dairy Science*, 59(3), 459–464.

Woods, V. B., Moloney, A. P., & O'Mara, F. P. (2003b). The nutritive value of concentrate feedstuffs for ruminant animals: Part II: *In situ* ruminal degradability of crude protein. *Animal Feed Science and Technology*, 110(1-4), 131–143.

Woods, V. B., O'mara, F. P., & Moloney, A. P. (2003a). The nutritive value of concentrate feedstuffs for ruminant animals: Part I: *In situ* ruminal degradability of dry matter and organic matter. *Animal Feed Science and Technology*, 110(1-4), 111–130.

Woyengo, T. A., & Nyachoti, C. M. (2013). Anti-nutritional effects of phytic acid in diets for pigs and poultry—current knowledge and directions for future research. *Canadian Journal of Animal Science*, 93, 9–21.

Woyengo, T. A., Beltranena, E., & Zijlstra, R. T. (2017). Effect of anti-nutritional factors of oilseed co-products on feed intake of pigs and poultry. *Animal Feed Science and Technology*, 233, 76–86.

Woyengo, T. A., Patterson, R., & Levesque, C. L. (2018). Nutritive value of multienzyme supplemented cold-pressed camelina cake for pigs. *Journal of Animal Science*, 96, 1119–1129.

Wu, G., Farouk, M. M., Clerens, S., & Rosenvold, K. (2014). Effect of beef ultimate pH and large structural protein changes with aging on meat tenderness. *Meat Science*, 98, 637–645.

Wu, G., Wu, Z., Dai, Z., Yang, Y., Wang, W., Liu, C., Wang, B., Wang, J. & Yin, Y. (2013). Dietary requirements of “nutritionally non-essential amino acids” by animals and humans. *Amino acids*, 44, 1107–1113.

Wu, M., Xiao, H., Ren, W., Yin, J., Tan, B., Liu, G., Li, L., Nyachoti, C. M., & Wu, G. (2014). Therapeutic effects of glutamic acid in piglets challenged with deoxynivalenol. *PloS one*, 9(7), e100591.

Wyrwisz, J., Moczowska, M., Kurek, M., Stelmasiak, A., Póltorak, A., & Wierzbicka, A. (2016). Influence of 21 days of vacuum-aging on color, bloom development, and WBSF of beef semimembranosus. *Meat Science*, 122, 48–54.

Xu, M., Yao, J. H., Wang, Y. H., & Wang, F. N. (2006). Influence of rumen escape starch on α -amylase activity in pancreatic tissue and small intestinal digesta of lambs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 19, 1749–1754.

Yanke, L. J., Bae, H. D., Selinger, L. B., & Cheng, K. J. (1998). Phytase activity of anaerobic ruminal bacteria. *Microbiology*, 144, 1565–1573.

Zagorakis, K., Liamadis, D., Milis, C., Dots, V., & Dots, D. (2015). Nutrient digestibility and in situ degradability of alternatives to soybean meal protein sources for sheep. *Small Ruminant Research*, 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 and Products*, 107, 602–608.

Bibliografía

Zenobi, M. G., Lardner, H. A., Jefferson, P. G., & McKinnon, J. J. (2014). Blended by-product feed pellets for backgrounding cattle. *Canadian Journal of Animal Science*, 94, 533–543.

Zijlstra, R. T., & Beltranena, E. (2007). Latest developments in alternative feedstuffs for pigs. *Procedures Manitoba Swine Seminar*, 21, 167–172.

Zubr, J. (2003a). Dietary fatty acids and amino acids of *Camelina sativa* seed. *Journal of Food Quality*, 26, 451–462.

Zubr, J. (2003b). Qualitative variation of *Camelina sativa* seed from different locations. *Industrial Crops and Products*, 17, 161–169.

Zubr, J. (2003b). Qualitative variation of *Camelina sativa* seed from different locations. *Industrial Crops and Products*, 17, 161–169.

