



Facultad de Veterinaria  
Universidad Zaragoza



## Trabajo Fin de Máster

**Optimización de la proteína bruta del pienso de cebo de corderos ligeros de raza Rasa Aragonesa**

Autora: Clàudia Baila Bigné

Directoras: Margalida Joy Torrens y Mireia Blanco Alibés

Facultad de Veterinaria de Zaragoza

Año: 2019



## AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer al Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), en cuyas instalaciones se ha realizado este trabajo, al Departamento de Producción Animal de la Universitat de Lleida y a la granja experimental El Nial (Guissona), que llevaron a cabo gran parte del trabajo. Este proyecto ha sido financiado con el proyecto INIA RTA2017-00008-C02-00.

Agradecer también al Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza por darme la oportunidad de cursar el Master Internacional en Nutrición Animal, por abrirme las puertas al CITA y por la concesión de una beca para la realización de estos estudios.

A Margalida Joy y Mireia Blanco por ayudarme en los comienzos en el mundo de la investigación. Por sus consejos y su tiempo.

A Javier Álvarez y Jonathan Pelegrín por su ayuda en la gestión de datos y por llevar a cargo gran parte del proceso experimental.

Al personal de laboratorio, Angelina Legua, Juan Ramón Bertolín y María Luisa Díaz por su gran profesionalidad y por su cariño. A Adrián Martínez y Miguel ángel Céspedes, por tu labor en la parte experimental.

Al resto del Departamento de Producción y Sanidad Animal por el excelente recibimiento y, en especial, a Sandra y a Guillermo, por ayudarme cuando los he necesitado.

A mis compañeros Pablo, Agustí, Karina, Juanra, Enrique, Kenza, Tamara, Andrés y Alejandro por hacer que me haya sentido acogida desde el primer momento en esta nueva etapa.

En general a todos mis amigos, que también han vivido este proceso, y particularmente a mi familia, sobre todo a mi hermana, a Cala y a Adrián.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	I
ÍNDICE DE TABLAS .....	III
ÍNDICE DE FIGURAS .....	V
ABREVIATURAS.....	VII
RESUMEN .....	XI
SUMMARY .....	XIII
RÉSUMÉ.....	XV
ANTECEDENTES .....	1
1. Importancia del ganado ovino en Europa, España y Aragón .....	1
2. Sistema de producción ovina en España.....	1
3. Importancia del nivel de proteína en piensos de corderos.....	2
3.1 Efecto del nivel de proteína en la digestibilidad aparente de la dieta .....	5
3.2. Relación entre el contenido de proteína de la dieta y las concentraciones de metabolitos proteicos en plasma .....	8
3.3 Efecto del nivel proteico sobre los rendimientos productivos de los animales .....	10
3.4 Relación entre el nivel de proteína en piensos de corderos y la calidad de la canal y de la carne.....	12
3.4.1 Calidad de la canal de cordero .....	12
3.4.2 Calidad de la carne .....	14
Oxidación lipídica .....	17
Composición química de la carne.....	17
Composición de ácidos grasos (AG) de la carne.....	18
OBJETIVOS .....	21
MATERIAL Y MÉTODOS .....	23
1. PIENSOS.....	23
2. ENSAYOS.....	23
2.1 Ensayo de digestibilidad <i>in vivo</i> .....	23
2.1.1 Manejo de los animales y muestreos.....	24
2.1.2 Análisis químicos .....	25
2.1.3 Cálculos matemáticos .....	25
2.2. Ensayo de producción: cebo de corderos .....	26
2.2.1. Manejo de los animales y muestreos durante el cebo .....	26
2.2.2. Sacrificio de los corderos y calidad de la canal .....	27

2.2.3. Calidad de la carne .....	27
Color del músculo Longissimus thoracis et lumborum .....	28
Oxidación lipídica .....	28
Composición química del músculo.....	29
Composición de ácidos grasos del músculo .....	29
3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	31
RESULTADOS .....	33
1. ALIMENTOS .....	33
2. PARÁMETROS DE DIGESTIBILIDAD APARENTE <i>IN VIVO</i> .....	33
2.1 Periodo de crecimiento.....	33
2.1 Periodo de acabado .....	34
4. PARÁMETROS PRODUCTIVOS, CALIDAD DE LA CANAL Y LA CARNE .....	36
3.1 Parámetros productivos.....	36
3.2 Calidad de la canal .....	36
3.3 Calidad de la carne .....	37
DISCUSIÓN .....	41
1. ALIMENTOS .....	41
2. ENSAYO DIGESTIBILIDAD.....	41
3. PARÁMETROS PRODUCTIVOS, CALIDAD DE LA CANAL Y DE LA CARNE .....	44
3.1 Parámetros productivos.....	44
3.2 Calidad de la canal .....	45
3.2.1 Parámetros productivos de la canal.....	45
3.2.1 Color de la canal .....	46
3.3 Calidad de la carne del LTL.....	46
3.3.1 pH, color y compuestos hemínicos de la carne.....	46
3.3.2 Oxidación lipídica de la carne.....	48
3.3.3 Composición química y perfil de AG de la carne.....	48
CONCLUSIONES .....	51
BIBLIOGRAFÍA .....	53

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Ingredientes de los piensos de la fase de crecimiento y acabado de los corderos.....	23
<b>Tabla 2.</b> Composición química y perfil de ácidos grasos (AG) (media ± desviación estándar) de los piensos de la fase de crecimiento y la de acabado. ....	33
<b>Tabla 3.</b> Efecto del contenido en proteína bruta de los piensos en la digestibilidad de la materia seca (Dms), materia orgánica (Dmo), nitrógeno (Dn), fibra neutro detergente (Dfnd) y ácido detergente (Dfad) durante el periodo de crecimiento. ....	34
<b>Tabla 4.</b> Efecto del contenido en proteína bruta de los piensos en el balance nitrogenado en la fase de crecimiento.....	34
<b>Tabla 5.</b> Efecto del contenido en proteína bruta de los piensos en los metabolitos sanguíneos en la fase de crecimiento. ....	34
<b>Tabla 6.</b> Efecto del contenido en proteína bruta de los piensos en la digestibilidad de la materia seca (DMs), materia orgánica (DMo), Nitrógeno (Dn), fibra neutro detergente (Dfnd) y ácido detergente (Dfad) durante el periodo de acabado. ....	35
<b>Tabla 7.</b> Efecto del contenido en proteína bruta de los piensos en la fase de acabado en el balance nitrogenado (N). ....	35
<b>Tabla 8.</b> Efecto del contenido en proteína bruta de los piensos en los metabolitos sanguíneos en la fase de acabado. ....	35
<b>Tabla 9.</b> Efecto del contenido en proteína bruta de los piensos en los principales parámetros productivos del cebo de los corderos.....	36
<b>Tabla 10.</b> Efecto del contenido en proteína bruta de los piensos en los de los parámetros de color del músculo Rectus abdominis. ....	37
<b>Tabla 11.</b> Efecto del contenido en proteína bruta de los piensos en la composición química y en los ácidos grasos (AG) del músculo Longissimus thoracis et lumborum... ..	39
<b>Tabla 12.</b> Efecto del contenido en proteína bruta de los piensos en los sumatorios y ratios de los principales ácidos grasos (AG) del músculo Longissimus thoracis et lumborum. ....	40



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Efecto del contenido en proteína bruta de los piensos en la calidad de la canal.....	36
<b>Figura 2.</b> Evolución de la luminosidad ( $L^*$ ), índice de rojo ( $a^*$ ), saturación ( $C^*$ ) y tono ( $H^o$ ) del músculo Longissimus thoracis et lumborum según el contenido en proteína bruta del pienso durante la exposición al oxígeno. .....	37
<b>Figura 3.</b> Evolución de pigmentos hemínicos del músculo Longissimus thoracis et lumborum según el contenido de proteína bruta del pienso durante la exposición al oxígeno. .....	38
<b>Figura 4.</b> Evolución de la oxidación lipídica en músculo Longissimus thoracis et lumborum según el contenido de proteína bruta del pienso con el tiempo de maduración.....	38



## ABREVIATURAS

<b>ACN</b>	Acetonitrilo
<b>AFRC</b>	<i>Agricultural and Food Research Council</i>
<b>AG</b>	Ácido graso
<b>AGMI</b>	Ácido graso monoinsaturado
<b>AGPI</b>	Ácido graso poliinsaturado
<b>AGS</b>	Ácido graso saturado
<b>AGV</b>	Ácido graso volátil
<b>ALA</b>	Ácido alfa-linolénico
<b>ALC</b>	Ácido linoleico conjugado
<b>AMSA</b>	<i>American Meat Science Association</i>
<b>AOAC</b>	<i>Association of Official Analytical Chemists</i>
<b>AOCS</b>	<i>American Oil Chemists' Society</i>
<b>AR</b>	Ácido ruménico
<b>atm</b>	Atmósferas
<b>BHB</b>	β-hidroxibutirato
<b>BHT</b>	butil-hidroxi-tolueno
<b>CIE</b>	<i>Comission Internationale de l'Eclairage</i>
<b>CITA</b>	Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón
<b>cm</b>	Centímetro
<b>CP</b>	<i>Crude protein</i>
<b>D</b>	Digestibilidad
<b>DFD</b>	<i>Dark, firm and dry</i>
<b>DHA</b>	Ácido docosahexaenoico
<b>DMb</b>	Desoximiglobina
<b>DMS</b>	Digestibilidad de la materia seca
<b>E</b>	Energía
<b>EB</b>	Energía bruta
<b>EE</b>	Extracto etéreo
<b>e.e.m</b>	Error estándar de la media
<b>EM</b>	Energía metabolizable
<b>EPA</b>	Ácido eicosapentanoico
<b>FAD</b>	Fibra ácido detergente
<b>FEDNA</b>	<i>Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal</i>
<b>FND</b>	Fibra neutro detergente
<b>g</b>	Gramo
<b>GB</b>	Grasa bruta
<b>glm</b>	General Linear Model
<b>GMD</b>	Ganancia media diaria
<b>h</b>	Hora
<b>HE</b>	<i>High energy</i>
<b>HP</b>	<i>High protein</i>

<b>IGP</b>	Indicación geográfica protegida
<b>IC</b>	Índice de conversión
<b>IMD</b>	Ingesta media diaria
<b>INRA</b>	<i>Institut national de la recherche agronomique</i>
<b>K</b>	Kelvin
<b>Kcal</b>	Kilocaloría
<b>kg</b>	Kilogramos
<b>KJ</b>	Kilojulios
<b>LAD</b>	Lignina ácido detergente
<b>LTL</b>	<i>Longissimus thoracis et lumborum</i>
<b>LW</b>	<i>Live weight</i>
<b>MAPAMA</b>	Ministerio de agricultura, pesca, alimentación y medio ambiente
<b>Mcal</b>	Megacalorías
<b>MDA</b>	Malondialdehído
<b>MF</b>	Materia fresca
<b>mg</b>	Miligramo
<b>MJ</b>	Megajulios
<b>ml</b>	Mililitro
<b>mm</b>	Milímetro
<b>mM</b>	Milimolar
<b>MMb</b>	Metamioglobina
<b>mmol</b>	Milimol
<b>MO</b>	Materia orgánica
<b>MS</b>	Materia seca
<b>nm</b>	Nanómetro
<b>NRC</b>	<i>National Research Council</i>
<b>OMb</b>	Oximioglobina
<b>PB</b>	Proteína bruta
<b>PC</b>	Peso canal
<b>PDI</b>	Proteína digestible en el intestino
<b>PM</b>	Proteína metabolizable
<b>PM<sub>m</sub></b>	Proteína metabolizable de mantenimiento
<b>PN<sub>m</sub></b>	Proteína neta de mantenimiento
<b>PSE</b>	<i>Pale, soft and exudative</i>
<b>PV</b>	Peso vivo
<b>r</b>	Coeficiente de correlación
<b>rpm</b>	Revoluciones por minuto
<b>TBA</b>	Ácido tiobarbitúrico
<b>TBARS</b>	<i>Thiobarbituric acid-reactive substance</i>
<b>TCA</b>	Tricloroacético
<b>TMP</b>	Tetrametoxipropano
<b>UFC</b>	Unidad forrajera carne
<b>UPLC</b>	<i>Ultra performance liquid chromatograph</i>
<b>UV</b>	Ultravioleta

$\mu l$	Microlitros
$\mu m$	Micrómetros



## RESUMEN

La búsqueda del contenido óptimo de proteína bruta (PB) en la dieta, necesario para un nivel de producción dado, permite optimizar la utilización del nitrógeno por parte del animal y reducir las emisiones de amoniaco de las excreciones de los rumiantes. En España, las razas ovinas autóctonas comúnmente explotadas son de formato medio-pequeño y es probable que la cantidad PB incluida en el pienso de cebo sea excesiva para sus necesidades, incrementando el precio del pienso y la excreción de nitrógeno al medio ambiente. Por ello, tiene interés reducir el contenido en PB del pienso, aunque debe asegurarse que no se ven afectados negativamente la digestibilidad de nutrientes, los rendimientos productivos y la calidad del producto.

El objetivo del presente estudio fue evaluar la viabilidad de la reducción de la proteína bruta de la dieta de corderos en cebo. Para ello, se realizó un estudio con el fin de determinar el efecto de la reducción del contenido de PB sobre los parámetros de digestibilidad *in vivo* y otro estudio de cebo para estudiar los efectos sobre la producción y la calidad de la canal y la carne.

En ambos estudios se evaluaron piensos isoenergéticos con dos niveles en PB: 18% (*Bajo*) vs. 20% (*Control*) en la fase de crecimiento y 17% (*Bajo*) vs. 19% (*Control*) en la de acabado. En el estudio de digestibilidad *in vivo* se realizaron dos ensayos con 12 corderos de raza Rasa Aragonesa cada uno, uno en la fase de crecimiento del cordero ( $14\pm0,9$  kg de PV) y el segundo en la fase de acabado ( $18\pm0,8$  kg de PV). Los corderos se alojaron en jaulas individuales de digestibilidad con comedero de pienso, bebedero de agua y colector de excreciones con separador para heces y orina. Se determinó la digestibilidad de los nutrientes, balance nitrogenado y las concentraciones de metabolitos (urea, creatinina y  $\beta$ -hidroxibutirato) sanguíneos. Para el estudio de los rendimientos durante el cebo, se utilizaron corderos machos (14,5 kg; 45-60 días) de raza Ripollesa alimentados con pienso y paja *ad libitum*. Los corderos se asignaron aleatoriamente en 2 tratamientos durante todo el cebo: *Bajo* o *Control*; recibiendo el pienso de crecimiento desde el inicio del cebo hasta los 19 kg PV y el de acabado desde los 19 a los 25 kg, momento en que fueron sacrificados. Tras el oreo de las canales, se estudiaron los parámetros de calidad de la canal (peso, rendimiento, engrasamiento y color del músculo *Rectus abdominis*) y la calidad la carne en el músculo *Longissimus thoracis et lumborum* (pH, color, pigmentos hemínicos, oxidación lipídica, composición química y perfil de ácidos grasos).

La disminución de la PB en el pienso únicamente tendió a reducir la digestibilidad de la fibra neutro detergente y ácido detergente ( $P<0,10$ ) en la fase de crecimiento, mientras que tendió a reducir la excreción de N en orina y la excreción total de N y a disminuir la concentración de  $\beta$ -hidroxibutirato ( $P<0,10$ ) en la fase de acabado. En

cuanto a los parámetros productivos, la disminución de dos puntos porcentuales de PB únicamente tendió a incrementar el consumo diario de pienso ( $P<0,10$ ). El efecto más negativo de la reducción de proteína fue el empeoramiento del peso (11,3 vs. 11,9 kg,  $P<0,05$ ) y el rendimiento de la canal (46% vs. 49%,  $P<0,01$ ) pero sin afectar al resto de parámetros. La reducción de la PB del pienso tuvo escaso efecto sobre la calidad de la carne. Únicamente se registró un aumento del contenido en metamioglobina cuando se disminuyó el contenido de proteína en la dieta, afectando también a ciertos ácidos grasos minoritarios (menos de 0,1% respecto al total de ácidos grasos).

En base a estos resultados, se puede recomendar una reducción del contenido en PB del pienso durante el cebo de corderos ligeros de pequeño formato, siempre teniendo en cuenta el precio del cordero en el mercado y el coste de las materias proteicas.

## SUMMARY

Determining the optimal crude protein (CP) content in the diet necessary for a given production level allows to optimize the use of nitrogen by the animal and reduce the ammonia emissions of ruminant excretions. In Spain, the commonly exploited local ovine breeds are of medium-small format, and the PB content included in the concentrate is probably excessive for their requirements, increasing the price of concentrate and the excretion of nitrogen to the environment. It is therefore advisable to reduce the PB content, although it should be ensured that nutrient digestibility, animal performance and product quality are not adversely affected.

The aim of this study was to evaluate the possibility to reduce CP of the diet of growing lambs. For that, we carried out one experiment to determine the effect on *in vivo* digestibility and another experiment to evaluate the effects on animal performance during fattening and on carcass and meat quality.

In both experiments, isoenergetic concentrates with different CP were evaluated: 18% vs. 20% (*Control*) in the growing period and 17% vs. 19% (*Control*) in the finishing period. In the digestibility experiment, two trials were carried out using 12 of Rasa Aragonesa lambs to evaluate the *in vivo* digestibility in growing phase (14±0.9 kg live weight, LW) and finishing phase (18±0.8kg LW). The digestibility of the nutrients, nitrogen balance and concentration of blood metabolites (urea, creatinine and β-hydroxybutyrate) were determined. In the fattening experiment, Rapollesa lambs (15.0 kg LW) were fed on concentrates and straw *ad libitum*. Lambs were randomly assigned to one of two treatments: low CP vs. control. They received the growing concentrate from the start to 19 kg LW and the finishing concentrate from 19 kg to 25 kg, when they were slaughtered. After cooling, carcass characteristics (weight, carcass yield, fatness score and colour of *Rectus abdominis* muscle) and meat quality of *Longissimus thoracis et lumborum* muscle (pH, colour, haeminic pigments, lipid oxidation, chemical composition and fatty acid profile) were evaluated

The reduction of CP only tended to reduce the digestibility of neutral detergent and acid detergent fibres ( $P<0.10$ ) in the growing period whereas it tended to reduce the nitrogen excreted in urine and the total nitrogen excreted and β-hydroxybutyrate concentration in plasma ( $P<0.10$ ) in the finishing period. Regarding the parameters of the fattening trial, the reduction of 2% CP tended to increase the daily concentrate intake ( $P<0.10$ ). Regarding carcass characteristics, carcasses of the low CP level were lighter (11.3 vs. 11.9 kg,  $P<0.05$ ) and had a concomitant lower carcass yield (46 vs. 49%,  $P<0.01$ ) than those of the control level. The level of CP had minor effects on meat quality. Only, the reduction of CP increased metmyoglobin content and affected some minor fatty acids.

In summary, it is advisable to reduced CP of the concentrate during fattening of light lambs of medium-small framed breeds, always taking into account the price of the lamb and the cost of protein ingredients.

## RÉSUMÉ

La recherche du contenu optimal en protéine brute (PB) dans la ration nécessaire pour un niveau de production déterminé permet d'optimiser l'utilisation d'azote (N) par l'animal et de réduire les émissions d'ammoniac provenant des excréptions des ruminants. En Espagne, les races ovines autochtones communément utilisées sont de moyen à petit format, et il est probable que la quantité de PB incluse dans les concentrés soit excessive par rapport à leurs besoins. Ceci produit une augmentation du prix de la ration ainsi qu'une hausse d'excrétion d'azote dans l'environnement. Par conséquent, la réduction de la teneur en PB présente dans les concentrés s'avère nécessaire, tout en veillant à ne pas altérer la digestibilité des éléments nutritifs, les rendements de production et la qualité du produit.

L'objectif de la présente étude était d'évaluer la viabilité de la réduction de la teneur en PB dans la ration des agneaux en engrangissement. Pour cela, une première étude a été réalisée pour déterminer l'effet de la réduction de la teneur en PB sur les paramètres de digestibilité *in vivo* et une seconde étude d'engraissement afin d'étudier les effets sur la production et la qualité de la carcasse et de la viande. Dans les deux études, les concentrés isoénergétiques ont été évalués avec deux niveaux de PB : 18% vs. 20% (*Contrôle*) en phase de croissance et 17% vs. 19% (*Contrôle*) en phase de finition. L'étude de digestibilité *in vivo* a été réalisée en deux essais avec 12 agneaux de la race Raza Aragonesa chacun : un en phase de croissance ( $14 \pm 0,9$  kg de PV) et le second en phase de finition ( $18 \pm 0,8$  kg de PV). Les agneaux ont été logés dans des cages de digestibilité individuelles avec un abreuvoir, une mangeoire et un collecteur d'excrétions avec séparateur pour l'urine et les fèces. La digestibilité des nutriments, le bilan azoté et les concentrations des métabolites (urée, créatinine et  $\beta$ -hydroxybutyrate) sanguins ont été déterminés. Pour l'étude des rendements pendant l'engraissement, des agneaux mâles (14,5 kg PV; 45-60 jours) de race Ripllesa nourris avec concentré et paille *ad libitum* ont été utilisés. Ces agneaux ont été distribués aléatoirement en deux traitements pendant tout l'engraissement: PB bas ou contrôle ; recevant le concentré de croissance du début d'engraissement à 19 kg et le concentré de finition de 19 à 25 kg, moment auquel ils ont été sacrifiés. Après le ressuage des carcasses, les paramètres de qualité de la carcasse (poids, rendement, état d'engraissement et couleur du muscle *Rectus abdominis*) et de la qualité de la viande dans le muscle *Longissimus thoracis et lumborum* (pH, couleur, pigments héminiques, oxydation lipidique, composition chimique et profil des acides grasses) ont été étudiés.

La diminution du PB dans l'aliment avait tendance à réduire uniquement la digestibilité des fibres neutres et de l'acide detergent ( $P < 0,10$ ) dans la phase de croissance, alors qu'elle avait tendance à diminuer l'excrétion de N dans l'urine et

l'excrétion totale de N et diminue aussi la concentration de  $\beta$ -hydroxybutyrate ( $P<0,10$ ) en phase de finition.

En ce qui concerne les paramètres de production, la réduction de deux points de pourcentage de PB uniquement a eu tendance à augmenter la consommation quotidienne de concentré ( $P<0,10$ ). L'effet le plus négatif de la réduction de PB était que le poids (11,3 vs. 11,9 kg,  $P<0,05$ ) et les performances de la carcasse (46% contre 49%,  $P<0,01$ ) ont baissé s'aggravaient, mais sans affecter le reste des paramètres. La réduction de la PB a eu un effet réduit sur la qualité de la viande. La teneur en métamioglobine a augmenté quand le niveau de protéines dans la ration a été réduit et a affecté certains acides gras mineurs (moins de 0,1% par rapport aux acides gras totaux).

D'après ces résultats, une réduction de la teneur en PB du concentré peut être recommandée lors de l'engraissement d'agneaux légers de petit format, en tenant toujours compte du prix de l'agneau sur le marché et du coût des matières protéiques.

## ANTECEDENTES

### 1. Importancia del ganado ovino en Europa, España y Aragón

A nivel europeo, la cabaña ovina alcanzó en 2017 los 85,4 millones de cabezas, concentrada principalmente en Reino Unido (27%), seguida de España (19%; 15,9 millones de cabezas), Rumanía (12%) y Grecia (10%). De igual forma, España se situó en segundo lugar en cuanto a la producción de carne en 2017 (UE-28), con un 16,8% del total, por detrás del Reino Unido (39,5%). La producción final de carne de ovino y caprino en España se estima en 1.243 millones de euros (MAPAMA, 2018a). Por Comunidades Autónomas, los mayores censos ovinos se concentran en Extremadura (22,1%), Castilla-León (18,3%), Castilla-La Mancha (15,9%), Andalucía (14,4%) y Aragón (10,4%; con 1.742.133 cabezas en 4.854 explotaciones) en 2018. Los cebaderos se concentran en Cataluña (27%), Castilla-León (18%) y Aragón (17%), debido a la centralización en estas zonas de las industrias de fabricación de piensos. En Aragón en 2018, se produjo casi el 10% de la carne ovina de toda España, precedido por Castilla-León (25%), Castilla-La Mancha (14,3%), Cataluña (14,3%) y Región de Murcia (10,2%) (MAPAMA, 2018a)

El sector ovino español se caracteriza generalmente por una producción con una menor intensificación que las otras especies ganaderas. El ovino se establece principalmente en zonas marginales, caracterizándose por llevar a cabo un alto aprovechamiento de los recursos naturales. En estas zonas hay un bajo grado de innovación y un escaso control en la reproducción y en la alimentación. Todo ello, junto con la disminución del consumo de carne de cordero, la falta de relevo generacional y la pérdida de población en las zonas rurales, ha provocado una profunda crisis con una caída vertiginosa de los censos en los últimos 10 años (MAPAMA, 2018a). El futuro de la ganadería está cada vez más directamente relacionado con su vinculación al territorio, con la explotación de razas autóctonas y con la obtención de productos diferenciados y de alta calidad obtenidos de ellas (De Rancourt *et al.*, 2006). Como respuesta a esta crisis, las explotaciones ovinas buscan una mayor tecnificación y un mejor aprovechamiento de los recursos naturales, tratando de alcanzar la optimización de la alimentación a través de un ajuste entre las necesidades del rebaño y la dieta. El objetivo final es minimizar el coste de los insumos de la explotación, principalmente los asociados a la alimentación.

### 2. Sistema de producción ovina en España

El cordero se comercializa en España principalmente como cordero lechal y como cordero ternasco o recental, que representa el 75% de la comercialización (González *et al.*, 2016). El cordero lechal, típico de algunas comunidades españolas como Castilla-La

Mancha y Castilla-León, se alimenta principalmente con leche materna o lacto-reemplazantes y se sacrifica con una edad de 1-1,5 meses y un peso máximo de 8 kg.

En Aragón, la producción de corderos se realiza principalmente en cebaderos, en los cuales los corderos destetados son alimentados con pienso y paja a libre disposición, hasta conseguir su peso de sacrificio. En el caso de Ternasco de Aragón, para ser considerado como tal por la Indicación Geográfica Protegida (IGP), el cordero debe tener una edad entre 70-90 días y el peso canal debe estar comprendido entre 8,0 y 12,5 kg. En zonas con recursos forrajeros pastables de calidad, la producción de este tipo de cordero consta de un pastoreo inicial en el campo con su madre (alargando un poco la etapa de lactación), que se termina con los animales en el cebadero durante un periodo variable de entre 1 y 3 meses, dependiendo de la zona y de la época del año. Estos animales, pese a llevar una crianza menos intensiva, son capaces de competir en resultados con los de cebo intensivo (Álvarez *et al.*, 2018).

En la actualidad, ciertos grupos de consumidores muestran una gran preocupación por el impacto negativo de la ganadería sobre el medio ambiente. La producción de rumiantes es una fuente de contaminación, tanto por la emisión de gases de efecto invernadero (metano y óxido nitroso) (Opio *et al.*, 2013), como por la eutrofización de agua y suelo debida al exceso de nitrógeno (N) y fósforo (P) liberados al medio. Ambos elementos son utilizados de manera muy ineficiente por el ganado. En cuanto a las emisiones de N, la eficiencia media de uso por el vacuno de leche es de un 25% (rango de 15-40%), por lo que hasta un 85% del N ingerido puede excretarse al medio (Hristov *et al.*, 2013). El N excedente en la dieta es excretado por la orina y lo hace de tres formas diferentes: como nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) en los lixiviados, por medio de la volatilización de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y en forma de emisiones de óxido nitroso ( $\text{NO}_2$ ) (Rajabi *et al.*, 2017). La mayoría de este N se elimina a través de la orina, siendo mucho más susceptible de transformarse en  $\text{NO}_2$  que el eliminado en las heces. Una de las maneras de reducir la contaminación por amoníaco es la disminución del contenido en proteína de la dieta (Galles *et al.*, 2011). Un meta-análisis de 1.734 dietas demostró que, entre otras variables del rendimiento animal y de la dieta, la proteína bruta (PB) de la dieta es el factor más importante que determina la excreción de N en cebo (Waldrip *et al.*, 2013). Además, el exceso de proteína hace que no encuentren tan necesario el ciclo de reciclaje de la urea propio de los rumiantes y éste se vea mermado, aumentando aún más proporcionalmente el  $\text{NH}_3$  excretado por medio de la orina (Galles *et al.*, 2011).

### **3. Importancia del nivel de proteína en piensos de corderos**

En los sistemas intensivos los corderos se alimentan con concentrado (que puede suponer hasta el 90% de la dieta) y paja de cereal (Haddad y Ata, 2009), teniendo la dieta un contenido medio de PB entre 16-18%, según la fase en la que se encuentre el animal. Los concentrados ricos en PB presentan un coste elevado, llegando a suponer el coste de alimentación el 50-60% de los costes de la alimentación, por lo que su inclusión en la

dieta de corderos debe estar acompañado por unos parámetros productivos elevados que permitan rentabilizar la explotación. Por ello, se debe optimizar el racionamiento proteico, según las necesidades de producción de los animales, consiguiendo así granjas eficientes (Theodoridis *et al.*, 2012). Además del incremento del coste de la ración, la fracción proteica de la dieta está estrechamente relacionada con la excreción de N al exterior, incrementando la contaminación ambiental, tal y como ha sido expuesto con anterioridad. Por ello, es necesario conocer las necesidades reales de proteína digestible (Sinclair *et al.*, 2014), la eficiencia de utilización del N en el rumen (Hristov *et al.*, 2011), así como el reciclaje de la urea a través el rumen (Galles *et al.*, 2011). La búsqueda de una dieta con un contenido mínimo necesario de proteína para un nivel de producción dado, permitiría optimizar la utilización del N y reducir la contaminación ambiental por N.

El metabolismo del N en rumiantes es un proceso complejo debido a la transformación y utilización que sufren las proteínas de la dieta en el retículo-rumen. En el rumiante las necesidades en proteína metabolizable se cubren a partir de la proteína microbiana sintetizada en rumen y de la proteína de la dieta no degradada en rumen, con una pequeña contribución de la secreción endógena (NRC, 2001). La ingestión de escasa cantidad de proteína o N pueden comprometer el crecimiento microbiano, lo que puede conllevar un flujo inadecuado de proteína al intestino delgado, pudiendo ello limitar el rendimiento del animal. Sin embargo, la sobrealimentación proteica precisa un catabolismo de proteína a aminoácidos, la conversión del exceso de N a urea y su excreción en la orina, con el consiguiente impacto ambiental. La tasa de reciclaje de urea en el sistema digestivo del rumiante y su utilización por los microorganismos del rumen depende del nivel de PB en la dieta (Reynolds y Kristensen, 2008). En los animales en crecimiento alimentados con dietas bajas en PB, los microorganismos de rumen son capaces de usar más eficientemente la urea procedente del reciclado respecto a los de los animales alimentados con mayor nivel proteico (Reynolds y Kristensen, 2008; Wickersham, *et al.* 2008).

En los últimos años se ha avanzado en la mejora de la eficiencia del uso de la energía de la dieta, pero hay menor conocimiento sobre la conversión de la proteína de la dieta en proteína de leche o carne (VandeHaar y St-Pierre, 2006). Tanto las necesidades de energía metabolizable como de las de proteína (expresadas en unidades de proteína digestible en el intestino (PDI), equivalentes a la proteína metabolizable (INRA, 2007)), del ovino de cebo se calculan en función del peso vivo y de su ganancia media diaria (GMD). Los estudios de optimización del uso del N en ovino de carne se basan, entre otros objetivos, en reducir el nivel de proteína de la ración y, para ello, se debe evaluar cómo afectan la diminución de la ingestión de proteína en la productividad del animal, así como en la excreción de N. El efecto de la reducción del N de la dieta sobre los parámetros productivos del animal depende de varios factores como son el potencial de crecimiento del animal, el sistema de producción (Cole *et al.*, 2006) y la dieta.

Por otra parte, el contenido en PB de los piensos debe disminuir a medida que aumenta la edad y el PV de los corderos (Cole *et al.*, 2006), ya que la relación proteína/energía de la ganancia de peso disminuye conforme avanza el estado de madurez. De la misma forma, debe ser inferior en hembras que en machos, ya que el aumento de peso de éstas tiene un menor contenido de proteína y mayor en grasa (INRA, 2007). Sin embargo, en el sistema de producción intensivo, generalmente se utiliza un único pienso de cebo con un nivel intermedio de PB de entre el 15% y el 18%, dependiendo del potencial de crecimiento de la raza y la densidad energética de los piensos (FEDNA, 2008).

En España, existe poca investigación sobre las necesidades proteicas de las razas autóctonas utilizadas para la producción de carne y parece necesario seguir profundizando en la determinación de las necesidades de proteína del cordero de cebo en genotipos de pequeño formato explotados en las condiciones españolas. La Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA, 2008) estimó las necesidades de proteína digestible en el intestino (PDI) en corderos de razas autóctonas de 15 a 24 kg en 10,6% (o su equivalente: 15,6% PB), asumiendo consumos de pienso de aproximadamente 800 g/día y ganancias medias diarias de 250 g. En estos mismos animales, las necesidades energéticas se estiman en 0,81 UFC/d, lo que debe traducirse en una concentración energética de los piensos de 1,01 UFC/kg (o su equivalente: 12 MJ energía metabolizable (EM)/kg). Según las recomendaciones del INRA (2018), las necesidades en proteína bruta para corderos ligeros de razas autóctonas están fijadas en un 16,2% de PB en corderos de 15 kg y un 15,1% de PB para aquellos con un peso de 25 kg. Por su parte, las normas del National Research Council (NRC, 2007) de ovino determinan que, en razas de madurez precoz, como es el caso de la raza Rasa Aragonesa, las necesidades de PB oscilan entre 11,7-12,8% en corderos del mismo rango de peso, GMD, consumos de EM y capacidad de ingestión voluntaria que los descritos anteriormente.

Ante la sospecha de desajustes en el cálculo de las mismas por parte de los organismos de referencia (NRC, AFRC, INRA, FEDNA...), recientemente, algunos autores han recalculado las necesidades proteicas exactas para diferentes razas ovinas, con la finalidad de aproximar las necesidades específicas a cada una de ellas. Martins *et al.* (2019) en corderos Texel de 21,2 kg PV obtuvieron unas necesidades de proteína metabolizable para el mantenimiento ( $PM_m$ ) mayores respecto a los valores determinados por AFRC (1993) y NRC (2007). En el caso de la proteína neta para el mantenimiento ( $PN_m$ ), Martins *et al.* (2019) y Pereira *et al.* (2017), encontraron necesidades inferiores respecto a las obtenidas anteriormente en otros estudios (Galvani *et al.*, 2009 y Filho *et al.*, 2011).

### 3.1 Efecto del nivel de proteína en la digestibilidad aparente de la dieta

Los resultados en la bibliografía referentes al nivel proteico no son concluyentes, encontrándose una gran disparidad de condiciones de estudio con diferentes razas, tipos de animales, dietas, niveles de PB, duración ... y, por tanto, una gran variabilidad de resultados. La mayoría de trabajos existentes se han realizado con animales cuyo peso vivo es superior a los utilizados en los sistemas de producción intensivos españoles, siendo escasos los estudios realizados en animales jóvenes. Actualmente no hay una recomendación exacta y existe un amplio rango de aporte de PB en el concentrado de corderos de cebo en las empresas españolas (15-20,4% PB; Bello *et al.*, 2016).

Dos Santos *et al.* (2015) no encontraron efecto del nivel de PB (10 vs. 14%) sobre la eficiencia de producción microbiana y la digestibilidad de la mayoría de nutrientes, sin embargo, la ingestión de MS y la digestibilidad aparente de la PB fueron mejores con niveles de PB de 14%. Gao *et al.* (2016) tampoco vieron ningún efecto sobre la degradabilidad en rumen, pero sí un incremento de la digestibilidad intestinal de la MS al estudiar el efecto de tres niveles proteicos (11, 12 y 13% PB) en corderos de cebo. Muruz *et al.* (2017) estudiaron el efecto de proteína (11, 14, 17 y 20% PB) durante 60 días del cebo de corderos encontrando que el nivel de proteína no afectaba a la digestibilidad de la MS y de la MO, pero sí a la digestibilidad de la PB. Milis y Liamadis (2008) tampoco observaron efecto de la proteína no degradable en el rumen sobre la digestibilidad de los nutrientes al evaluar piensos isoenergéticos en los cuales se modifican las fuentes de proteína, fibra y la ratio de PB/EM (13 vs. 17 g/MJ EM) en corderos castrados de 19-23 meses de vida y un peso vivo de entre 59 y 63 kg. Al compararse un mismo nivel de proteína (16,2%) con distintas proporciones de proteína no degradable en dietas de cordero Awasi en crecimiento (17 kg PV), se obtuvo una mayor digestibilidad de la MS con los dos niveles superiores de proteína no degradable, mientras que la digestibilidad de PB únicamente incrementó cuando se suministraba la dieta con la mayor proporción de proteína no degradable (Haddad *et al.*, 2005).

Otros estudios encontraron efectos diferentes. Fluharty y McClure (1997) observaron que la dieta con 18,9% de PB presentaba una mayor digestibilidad de MS que la compuesta por un 14,5% de PB. Preston *et al.* (1965) también vieron cómo el aumento de la PB (6,2, 8, 11,7 y 13,5%) mejoró la digestibilidad de la proteína (con una elevada correlación;  $r=0,98$ ) y de la energía. Kiran y Mutsvangawa (2009) observaron que, al aumentar la concentración proteica (95, 125 y 155 g PB/kg MS), se incrementaba la digestibilidad de FND, FAD y PB y la retención de N, pero no la de la MS ni la MO, estando ello de acuerdo con Kawashima *et al.* (2000), quienes estudiaron el efecto de 4 tratamientos proteicos (3,4, 6,9, 10,4 y 13,9% PB) en ovejas adultas. En este sentido, Kaya *et al.* (2009) observaron en raciones 30:70 (heno:concentrado) un incremento de la digestibilidad de la PB, de la producción de ácidos grasos volátiles (AGV) y del nitrógeno amoniacoal ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) cuando se incrementaba el contenido en PB de la dieta de 10 a 16%. En cambio, Dutta *et al.* (2009) obtuvieron menores flujos de  $\text{NH}_3\text{-N}$  en las

dietas con un 14% de PB respecto a las que contenían un 12% PB. Kiran y Mutsvangwa (2009) observaron que niveles oscilantes de PB (9,5% y 15,5% PB alternados cada 48h) obtenían valores de retención de N mayores a los del nivel fijo de proteína de 12,5% (siendo igual al del promedio entre ambos niveles oscilantes), pese a ingerir la misma cantidad total de N, debido a una menor excreción en orina. Por todo esto, se puede deducir que estos animales adquieren una mayor capacidad de aprovechamiento del mismo, además de tener una mayor síntesis de proteína microbiana.

La gran variabilidad de los resultados de las referencias bibliográficas puede estar relacionada con el contenido en fibra y en energía de las dietas evaluadas, además de las diferentes precocidades y pesos de los animales estudiados. Andrews y Ørskov (1970a) combinaron 5 niveles de PB (10%, 12,5%, 15%, 17,5% y 20% PB), 3 planos de alimentación (100%, 85% y 70% de ingestión) y dos fases de crecimiento (de 16 a 27,5 kg PV y 27,5 a 40 kg PV). Observaron que el incremento del contenido en PB de la dieta aumentó la digestibilidad aparente de la MS, la EB y el N, pero solo con el mayor plano de alimentación y en los animales más jóvenes (19 kg PV). Sin embargo, la digestibilidad del N incrementó con el aumento de PB en todos los planos de alimentación en la primera fase de crecimiento y solo en el plano de alimentación medio en el caso de los animales de 27 kg PV. Siguiendo una línea de investigación similar, Tripathi *et al.* (2007) encontraron que la suplementación de pienso (restringida a 15, 25 g/kg PV o a voluntad) incrementaba la digestibilidad tanto de la MS como de la PB, así como la retención de N. Por el contrario, cuando la suplementación era de 45 g/PB/día en ovejas de 30 kg PV, únicamente se mejoraba la digestibilidad de la MS (Arelovich *et al.*, 2014). Sultan *et al.* (2010) encontraron una relación positiva entre el incremento de la proteína y energía de la dieta con la digestibilidad de la MS y del N, a la vez que obtuvieron una relación negativa entre el nivel de proteína y la digestibilidad de la FND. No obstante, vieron que la digestibilidad del N, al contrario que las demás, solo se vio afectada por el nivel proteico y no por la concentración energética. Karim *et al.* (2001) probaron 3 dietas con niveles crecientes de energía y proteína en corderos de 15 días de vida y observaron que la digestibilidad de la MS, MO y PB aumentó cuando se incrementaba el nivel de proteína, mientras que las digestibilidades de FND y FAD fueron superiores en la dieta con alto contenido de energía y proteína respecto a las otras dos. Sin embargo, la excreción de N fue inferior en los animales con un menor aporte de ambos nutrientes.

También es necesario tener en cuenta la estrecha relación entre la digestibilidad de la PB y la fuente de carbohidratos no estructurales. Estos últimos pueden modificar la población ruminal, lo que influye en la eficiencia de la degradación de la proteína, pudiéndose optimizar cuando se registra una mejor sincronización entre la degradación de la PB y de la energía en el rumen. Esto conlleva una mayor síntesis proteica microbiana y una mayor producción de AGV (Casper y Schingoethe, 1989). Akhtar *et al.* (2017), variando los porcentajes de proteína no degradable en el rumen en un 30%, 40%, 50% y 60% en la ración de vacas en lactación temprana (115 días post-parto), no

observaron ningún efecto sobre las digestibilidades de MS, FND, FAD y N. Por otro lado, el aumento del nivel de proteína en la dieta incrementa la concentración de aminoácidos presentes en el intestino delgado y, en consecuencia, su absorción, viéndose reflejado en un mayor crecimiento del animal (Pittroff *et al.*, 2006).

Ma *et al.* (2017) observaron que nivel de proteína (190 g PB/kg MS en el reemplazante lácteo y 150 g PB/kg MS en el pienso de iniciación vs. 250 y 210 g PB/kg MS, respectivamente) durante el periodo 15-60 días de vida no afectó a las digestibilidades de la MS, MO y N ni la retención de N, pero la producción de AGV y de amoniaco disminuyó en las dietas con el menor nivel en PB. Como resultado de un meta-análisis sobre la influencia de la ingestión de N sobre su excreción, Schuba *et al.* (2017) concluyeron que el N fecal y el N no ureico en orina dependían de la digestibilidad de la dieta más que del N ingerido, mientras que N en orina dependía directamente del N ingerido.

Tal y como se ha comentado anteriormente, actualmente existe un gran interés en conocer la relación del nivel de proteína de la dieta con la contaminación ambiental, con el fin de obtener conocimiento para poder reducir dicho efecto nocivo sin afectar negativamente al rendimiento de la explotación ganadera. El exceso de proteína ingerida a través de la dieta se degrada a aminoácidos libres y estos se convierten en NH<sub>3</sub> libre, el cual es transformado en urea en el hígado. Se estima que en vacuno con tasas de crecimiento de 400 a 800 g/día, cuando el N ingerido supera al sumatorio de N fecal más N urinario no ureico en más de 20 g/día, los animales comienzan a excretarlo como urea en orina, en el orden de 2,3 g N/día, reteniendo solamente un 24% del mismo (Pfeffer *et al.*, 2010). Por lo tanto, la reducción del contenido en proteína de la dieta va ligado a una disminución en las emisiones de amoníaco al medio y, en consecuencia, de la contaminación ambiental (Galles *et al.*, 2011). Los rumiantes son capaces de reutilizar parte de la urea formada e incorporarla como PB microbiana mediante la fermentación ruminal. De este modo, la urea se recicla y, en lugar de liberarse al medio, pasa al rumen y promueve el crecimiento de los microorganismos ruminantes. Sin embargo, cuando hay un exceso de ingestión de proteína, se registra una reducción de la tasa de utilización de la urea reciclada, aumentando proporcionalmente, el NH<sub>3</sub> excretado por medio de la orina (Galles *et al.*, 2011). Por otro lado, la ingestión constante de PB durante la vida del animal provoca una mayor excreción de N urinario en comparación a aquellos animales que ingieren cantidades variables de PB (Cole *et al.*, 2006), mientras que, cuando el aporte se ajusta a las necesidades en forma de proteína metabolizable, se produce un descenso de la excreción diaria de nitrógeno urinario (Van Emon *et al.*, 2017).

Nichols *et al.* (2019) realizaron infusiones abomasales a 8 vacas canuladas (633 kg PV) con el fin de proporcionar dos niveles de energía diferentes (precursores glucogénicos o lipogénicos) y dos niveles de proteína metabolizable (75% y 120%), respecto a las necesidades establecidas. Como resultado, los animales que experimentaron las infusiones con un mayor nivel de proteína metabolizable produjeron una mayor cantidad

de metano asociada a una ingestión de MS superior y una mayor producción de calor atribuida a varios factores. Entre ellos, un incremento del funcionamiento de los microorganismos ruminantes, un mayor consumo de O<sub>2</sub> del sistema porta que irriga al hígado y que aumenta su actividad debido al mayor catabolismo proteico (estimado en un 5% de consumo energético extra (Martin y Blaxter, 1965)) y, por último, un aumento del calor asociado directamente al catabolismo proteico, compuesto por numerosas reacciones exotérmicas. Este elevado coste asociado al catabolismo proteico hace que el exceso de PB en los piensos tenga un efecto negativo en la retención de energía (-4,2 a -6,6 kcal/g exceso de N) y en la producción de calor (de +4,4 a +7,6 kcal/g exceso de N) (Reed *et al.*, 2017). De hecho, la infusión de N por encima de las necesidades de las ovejas produjo 5,2 kcal de calor/g de N infundido en exceso, de las cuales se atribuyeron 3,8 kcal a la producción de urea a partir de amoníaco (Martin y Blaxter, 1965). Además, los procesos metabólicos de detoxificación del exceso de amoníaco producido por el hígado, requieren también energía (Lobley *et al.*, 1995). Asmare *et al.* (2011) probaron a alimentar a un grupo de ovejas y cabras adultas con una dieta basada en paja y concentrado a base de melazas y harina de soja y a otro grupo únicamente con paja *ad libitum*. Observaron un mayor gasto energético/kg PV<sup>0,75</sup>, un mayor consumo hepático de O<sub>2</sub> y un incremento del gasto energético por parte del hígado en animales alimentados con concentrado, no habiendo diferencias de crecimientos entre grupos.

### **3.2. Relación entre el contenido de proteína de la dieta y las concentraciones de metabolitos proteicos en plasma**

Monitorizar los niveles de los catabolitos proteicos en la sangre es una manera útil de optimizar el contenido de PB en las dietas de rumiantes de cebo (Costa *et al.*, 2017). Sin embargo, en ovino existe poca información sobre las concentraciones de metabolitos sanguíneos según los niveles de PB de las dietas (Álvarez *et al.*, 2018).

La urea en sangre es el metabolito resultante de la mayor ruta de excreción de N. Proviene de la degradación de proteína en amoníaco que, tras transformarse en urea en el hígado, se excreta por orina (Hatfield *et al.*, 1998). Esta degradación es llevada a cabo por los túbulos renales y depende de la ratio catabólica de la proteína y ésta, de la cantidad de N ingerido y de su porcentaje de retención. Por lo tanto, su medición en sangre se considera un indicador del nivel de proteína ingerida o movilizada y sus valores normales en sangre son de 2,86-7,14 mmol/l en el ganado ovino (Kaneko *et al.*, 2008). Dayani *et al.* (2011) encontraron mayores concentraciones de urea en la sangre de corderos de 25 kg PV alimentados con un 14% de PB respecto a los que ingirieron un pienso con un 12%. Del mismo modo, Mahmoud *et al.* (2013) obtuvieron una cantidad de urea sanguínea mayor en los corderos alimentados con un 17% PB respecto a los de niveles inferiores (14% y 11% PB). No obstante, en rumiantes no se excreta la totalidad de la urea formada, ya que una parte regresa al rumen, donde los microorganismos del mismo la usan como fuente de N para su crecimiento (Kaneko *et al.*, 2008). Asimismo, este metabolito también se elimina por medio de la leche, disminuyendo en condiciones

deficitarias de PB o EM, proporcionando una idea del estado metabólico del animal y de la adecuación entre las necesidades y los aportes de ambas (Kreuzer y Kirchgessner, 1985).

La ingestión en exceso de N se traduce en niveles elevados de urea en sangre (Gleghorn *et al.*, 2004; Koenig y Beauchemin, 2013) y un incremento del N ureico (Kiran y Mutsvangwa, 2009). Sin embargo, para que una mayor concentración de urea en sangre se pueda relacionar con la proteína dietaria, ésta tiene que ir acompañada de un aumento de la ingestión de N o PB o de un incremento en la digestibilidad de cualquiera de las dos (Vosooghi-Poostindoz *et al.*, 2014). Un mayor porcentaje de proteína no degradable en la ración también provoca un incremento de la concentración de urea en sangre (Soto-Navarro *et al.* 2004). Rocha *et al.* (2004) estudiaron 4 niveles diferentes de PB del concentrado (14, 16, 18 y 20%), observando una relación directamente proporcional entre el contenido en PB de la dieta y el nivel de N ureico en plasma. Hatfield *et al.* (1998) obtuvieron una mayor concentración de N ureico en sangre en ovejas alimentadas con el 18% de PB frente a aquellas con un 10%. Lo mismo ocurrió al comparar ingestiones de proteína de 402, 360, 310 y 300 g/d en terneros en crecimiento (Khan *et al.*, 2007). Sin embargo, Preston *et al.* (1965) observaron que, en dietas con una misma cantidad de proteína, el incremento de la energía conllevaba una menor concentración de N ureico en sangre. Vosooghi-Poostindoz *et al.* (2014) encontraron un valor superior de N ureico al incrementar la PB de 16% a 18% en corderos de 15,3 kg PV y de 14,5% a 16,5% en corderos de 30,5 kg PV. Por el contrario, Khan *et al.* (2017) no encontraron relación entre el nivel de proteína en la dieta (16 y 24,7% PB) y los valores de N ureico en sangre en corderos de cebo (17 kg PV). Según estos autores, este resultado es debido a que, pese a tratarse de concentraciones proteicas muy dispares, los animales que ingieren menor cantidad de proteína desarrollan un mecanismo adaptativo que hace que no haya diferencias de retención de N entre tratamientos debido a la reducción de la excreción fecal y urinaria del mismo. Además, esta modificación del organismo para la mejora del uso del N solo puede darse en condiciones energéticas beneficiosas, por lo que se puede afirmar que los valores de N ureico en sangre se ven afectados también por la energía de la dieta (Preston *et al.*, 1965).

La creatinina es el compuesto orgánico resultante de la degradación de creatina, implicada en el metabolismo energético muscular. Por tanto, animales con una mayor masa muscular debido a un mayor crecimiento, tienen valores superiores de creatinina. La cantidad de creatinina formada y, en consecuencia, su concentración en la sangre, con unos valores normales que oscilan de 106 a 168 µmol/l en ovino, depende del contenido corporal total de creatina. Éste, a su vez, está sujeto a la ingesta diaria de la misma por medio de tejidos animales y a la ratio de síntesis de creatina y de la masa muscular (Kaneko *et al.*, 2008). En dietas isoenergéticas e isoproteicas, en las cuales se varía la proporción de proteína no degradable en rumen, se observa que la glucosa en sangre no varía, pero los niveles de N ureico en sangre y la creatinina disminuyen cuando

incrementa la proteína no degradable en rumen (Akhtar *et al.*, 2017). Hatfield *et al.* (1998) también obtuvieron que, al aumentar la proteína en el pienso (10 vs. 18% PB), los valores séricos de creatinina disminuían. Sin embargo, en el estudio llevado a cabo por Khan *et al.* (2007), un aumento de la ingestión diaria de proteína de 402 g, comparado con 360, 310 y 300 g, no varió la concentración de creatinina en sangre en terneros. Posiblemente, esto se deba a que, a diferencia del N ureico, la creatinina sérica no es un metabolito resultante de la degradación proteica, por lo que resulta un peor predictor del nivel proteico de los animales (Pelegrín *et al.*, 2019).

### **3.3 Efecto del nivel proteico sobre los rendimientos productivos de los animales**

El efecto del contenido de PB de la dieta sobre los rendimientos productivos en el cebo de corderos depende de numerosos factores como es el nivel de PB, el tipo de dieta, el sistema de producción, el sexo y raza del animal y el peso al sacrificio. Además, hay un amplio número de factores implicados en la complejidad del rumen (Schroeder y Titgemeyer, 2008), los cuales determinan el tipo de fermentación ruminal y, por tanto, la utilización de la PB de la dieta. A su vez, las necesidades en proteína bruta para corderos ligeros de razas autóctonas difieren según el sistema de estimación (FEDNA, INRA y NRC), por lo que los estudios presentan resultados heterogéneos y poco concluyentes.

Ya en 1970, Andrews y Ørskov (1970a) observaron que el incremento del aporte proteico de la dieta (10%, 12,5%, 15%, 17,5% y 20% PB) provocó una disminución de la ingestión, siendo esta más acusada en el mayor plano de alimentación (*ad libitum* vs. 85% y 70% de ingestión). Sin embargo, la ganancia de peso incrementó paralelamente al incremento de la concentración proteica. Purroy *et al.* (1993) observaron en corderos de raza Rasa Aragonesa que aquellos que recibían un menor aporte proteico (12% vs. 15% y 18% de PB) durante el cebo presentaban una menor ganancia media diaria (GMD), una ingestión media diaria inferior y un peor índice de conversión (IC). Manso *et al.* (1998) también observaron que los corderos que recibían un concentrado con un 16% del PB presentaban menores ingestiones y GMD que aquellos alimentados con piensos de 22 y 24% de PB, pero el IC fue mejor en los corderos que recibían menor nivel de PB. Estos resultados concuerdan con los de Haddad *et al.* (2001), quienes estudiaron niveles del 10, 12, 14, 16 y 18% de PB en corderos Awasi de 23 kg PV, obteniendo mayores ingestiones de MS y GMD con los dos niveles superiores de PB y un peor rendimiento canal con el 10% de PB. En otras razas no españolas y con pesos superiores, el aumento del nivel de proteína entre 9,5 y 15,5%, provocó un incremento de las GMD sin modificarse significativamente ni la ingestión ni el índice de conversión (Muwalla *et al.*, 1998). En este sentido, Muruz *et al.* (2017) encontraron que los corderos (24 kg PV) de las dietas con el 17% de PB presentaron mayores ganancias de peso y un mejor índice de conversión y peso final (vs. 11, 14 y 20% PB). Dichos resultados, según los mismos autores, pudieron estar relacionados con la mayor digestibilidad de la PB en las dietas con un 17% PB. Kabir *et al.* (2002), concluyeron que el aumento proteico produce una

mejora en el balance energético de las corderas (14 kg PV) al desencadenar una mayor producción de ácidos grasos, principalmente de propionato, que se transforma en mejores rendimientos productivos. No obstante, el exceso de PB en la dieta puede provocar una disminución de la eficiencia metabólica asociada a la excesiva asimilación de energía proveniente de la proteína, que se transforma en un menor rendimiento productivo (Gunn *et al.*, 2009).

Otros trabajos no observaron efecto del nivel de PB en la dieta. Rocha *et al.* (2004), estudiando el efecto del nivel de proteína en el pienso (14, 16, 18 o 20% PB) en corderos (18 kg PV) de raza Santa Inés, no observaron diferencias sobre la ingestión, ganancia media diaria e índice de conversión. Tampoco Beauchemin *et al.* (1995) encontraron diferencias en cuanto a nivel productivo entre dos raciones con un 15 y un 18%. Preston *et al.* (1965) no obtuvieron ningún efecto del contenido de PB del pienso (desde 9 a 22% PB) ni sobre la ingestión ni sobre la GMD en ovinos de 37 kg PV. Sin embargo, cuando se valoraron contenidos inferiores de PB, desde 6,2 a 13,5% PB, la concentración proteica de la ración sí estuvo relacionada con un incremento de la GMD, alcanzando el crecimiento máximo cuando el contenido en PB era de 9,5%, a partir del cual, el incremento del aporte proteico no se tradujo en mayores GMD. A su vez, el aumento de la concentración proteica estuvo asociado con un incremento de la ingestión y una mejora del índice de conversión. Al comparar estos resultados referentes a las GMD con los de Craddock *et al.* (1974), puede observarse cómo los corderos (28 kg PV) alimentados con un 10,5% PB también alcanzaron unas ganancias de peso mayores que los asignados a un pienso con un 13,5% PB, aunque, en este caso, el IC empeoró debido a una elevada ingesta de pienso. Yurtman *et al.* (2002) también obtuvieron una disminución en la ingestión de MS y peores GMD al incrementar la PB en el pienso de corderos de 22 kg PV de 16,6% a 17,8% y 21,5% PB.

La fase de desarrollo del cordero en la que se evalúa el efecto del nivel de PB en la dieta puede influir en los resultados productivos. Estrada-Angulo *et al.* (2018) observaron que, durante los primeros 56 días del ensayo, realizado en corderos macho enteros de 23 kg PV, el incremento del nivel de PB hasta un 17% favorecía el crecimiento y la eficiencia de utilización de la energía en corderos de cebo; sin embargo, en la fase final del estudio, con 45,8 Kg PV, los niveles de PB superiores a 11% no mejoraban dichos parámetros. Vosooghi-Poostindoz *et al.* (2014) usaron, del mismo modo que en el presente estudio, dos dietas isoenergéticas (11,3 MJ EM/kg MS) que diferían entre ellas en dos unidades porcentuales y las probaron en dos etapas del cebo de corderos Kurdi. En su caso, la disminución de PB (16% vs. 18% PB) en animales de 15 kg PV provocó un incremento de las GMD y aumentó la ingestión de MS sin alterar el IC. No obstante, en la segunda fase de cebo (30,5 kg PV), las diferencias en la concentración de PB (14,5% vs. 16,5% PB) no produjeron ningún cambio en los parámetros anteriores.

Cuando se combinan diferentes niveles de energía y proteína en la dieta, los resultados sobre los parámetros productivos de los corderos son variables debido al

amplio número de razas, pesos vivos y períodos evaluados, así como diversos niveles de energía y proteína incluidos en la dieta. En corderos Taleshi de 5-6 meses (20 kg PV), estudiando el efecto del nivel de proteína y el nivel de energía de la dieta, se observó que los mejores resultados en GMD e IC se lograban cuando el nivel en proteína era intermedio (14% PB) y la energía metabolizable era de 10,5 MJ/kg MS (Kioumarsi *et al.*, 2008). Ríos-Rincón *et al.* (2014) estudiaron el efecto de dos niveles de energía (12,8 vs. 11,8 MJ/kg EM) y dos niveles proteicos (17,5 vs. 14,5% PB) durante 84 días sobre los rendimientos de corderos cruce de Pelibuey y Katahdin (24 kg PV) y afirmaron que, en el caso del cebo intensivo de corderos, el nivel energético de una dieta tiene más relevancia que el nivel proteico de la misma, en cuanto a eficiencia alimentaria se refiere. Además, aseguran que en piensos isoenergéticos, el incremento de PB por encima del 14,5% de PB no mejora el rendimiento de los animales en términos de crecimiento. También Sultan *et al.* (2010) evaluaron dos niveles de energía (2,7 vs. 2,3 MJ/kg MS) y dos de PB (14 vs. 12% PB) y registraron una mayor ingestión en los animales que recibían la dieta con baja energía y alta proteína, mientras que las mayores GMD se alcanzaron con el tratamiento con mayor energía y proteína.

### **3.4 Relación entre el nivel de proteína en piensos de corderos y la calidad de la canal y de la carne**

Los factores que influyen en la calidad del producto final son múltiples y son tanto intrínsecos del animal (la raza, el estado fisiológico del animal, la edad) como extrínsecos (la alimentación, la sanidad, el bienestar animal, el manejo...) (Sañudo *et al.* 1998).

#### **3.4.1 Calidad de la canal de cordero**

Colomer-Rocher (1973) definió la calidad de la canal como el “conjunto de características cuantitativas y cualitativas, cuya importancia relativa confiere a la canal una máxima aceptación y un mayor precio frente a los consumidores o frente a la demanda del mercado”.

El efecto del nivel de proteína de la dieta es más determinante en la fase de crecimiento que cuando el animal ya es adulto (Ørskov *et al.*, 1971; Andrews y Ørskov, 1970b). Por lo general, las dietas basadas en concentrado, al tener más energía y menos fibra, aunque no necesariamente una concentración proteica mayor, dan lugar a mayor peso de las canales, mayor engrasamiento y menor peso del tracto digestivo que las basadas en pasto (Fluharty *et al.*, 1999; Priolo *et al.*, 2002; Borton *et al.*, 2005; Ripoll *et al.*, 2008; Carrasco *et al.*, 2009). El peso de la canal es un parámetro productivo importante, puesto que influye sobre las demás características de la canal y está altamente relacionado con el valor comercial. Además, es un parámetro objetivo y fácil de determinar (Sañudo, 1992).

Estrada-Angulo *et al.* (2018) estudiaron el efecto del nivel proteico (110, 140, 170 y 200 g PB/kg MS) en varios piensos isoenergéticos durante 84 días en corderos enteros

cruce de Pelibuey y Katahdin (24 kg PV). El aumento de la cantidad de PB en la dieta incrementó el peso y engrasamiento de la canal, pero no el rendimiento de la misma. Dos Santos *et al.* (2015) observaron un aumento del rendimiento canal en corderos Santa Inés de 27 kg PV alimentados con un 14,5% de PB en el pienso respecto a aquellos alimentados con un 10%. Rocha *et al.* (2004) y Ruiz-Nuño *et al.* (2009) no obtuvieron diferencias significativas en características de la canal entre los corderos sometidos a 4 niveles (14, 16, 18 y 20% PB) y 3 niveles (14%, 16% y 18% de PB) de PB en la dieta, respectivamente. Craddock *et al.* (1974) observaron, en corderos Western Whiteface de 28 kg PV alimentados con dos niveles de PB (10,5 % y 13,5% PB) y dos niveles de energía (16,2 KJ/g MS vs. 18 KJ/g MS), obtenidos variando la proporción forraje:concentrado (50:50 y 20:80), que el contenido en PB no afectó a la calidad de la canal al sacrificarlos con un PV de 60 kg. Atti *et al.* (2004) no observaron ningún efecto del incremento de contenido en PB de la dieta (100, 130 y 160 g PB/kg PV) sobre el peso de la canal, pero sí vieron un incremento de la proporción del peso del digestivo y del hígado en los animales que recibieron el nivel intermedio de proteína, por lo que empeoró su rendimiento canal. Hajji *et al.* (2016) tampoco lograron un mayor rendimiento de la canal al comparar dos niveles proteicos diferentes (110 g PB/kg PV y 160 g PB/kg) en corderas de un año de edad. En cambio, Yurtman *et al.* (2002) en corderos East Friesian x Kivircik sí observaron un mayor rendimiento canal en los corderos que recibían la dieta con mayor proteína (13,5 vs. 12,5 % PB) y mayor energía (11,3 vs. 10,5 MJ EM/kg pienso). Del mismo modo, Seoni *et al.* (2018) obtuvieron mayores rendimientos y pesos de la canal en corderos de 27 kg PV alimentados con una concentración proteica de 20,2% PB respecto a aquellos alimentados con un 15% PB.

En dietas isoenergéticas, el nivel de PB de la ración produce pocas modificaciones en el engrasamiento de la canal y de la carne, aunque los estudios varían en función de la raza y de la fase de crecimiento en la que se encuentra el animal. Según Iason y Mantecón (1993), la modificación de la concentración proteica en dietas con el mismo aporte energético solo produce ligeras modificaciones en el nivel de engrasamiento de la canal (a menudo no significativas), excepto en el caso de que el aporte de proteína sea no degradable en el rumen. Craddock *et al.* (1974) afirmaron que la variación del contenido en proteína (10,5% vs. 13,5% PB) en dietas con alta proporción de concentrado (20:80, forraje:concentrado; 4,3 kJ/g MS) no afectaba al engrasamiento de la canal; sin embargo, cuando la dieta era menos energética (50:50; 16 kJ/g MS), los corderos alimentados con mayor porcentaje de proteico obtuvieron un incremento del contenido en grasa renal y de la canal al ser sacrificados con un peso de 60 kg PV. En este sentido, Hajji *et al.* (2016) y Estrada-Angulo *et al.* (2018) observaron que en dietas isoenergéticas de corderos de 32 y 23 kg PV, respectivamente, el incremento del contenido en PB provocaba un mayor contenido en grasa de la canal. Ésta es de gran importancia, ya que actúa como una capa protectora, reduciendo las perdidas por refrigeración, mejorando el rendimiento canal y la terneza del producto (Sañudo, 2014). Las canales con menos grasa subcutánea de cobertura pierden el calor de una forma

más rápida (Carse, 1973), lo cual conlleva alteraciones de los sarcómeros musculares, llamadas acortamiento por frío, que desencadenan una carne menos tierna (Ertbjerg y Puolanne, 2017). Además, es un factor importante en el color final de la carne, ya que la preserva de la desecación y evita que adquiera un color demasiado oscuro (Sebsibe, 2008).

En relación al tipo de grasa depositada, Ríos-Rincón *et al.* (2014) observaron que las dietas con mayor concentración proteína y energía (12,8 MJ EM/kg y 17,5 de PB), provocaban un mayor depósito de grasa pélvico-renal y cardíaca en corderos de 24 kg PV. Ruiz-Nuño *et al.* (2009) observaron una tendencia a un menor contenido en grasa renal en corderos de 18 kg PV que recibían mayor concentración de proteína en el pienso (18% PB), siendo mayor en aquellos alimentados con un 16% de PB. Las diferencias de resultados entre los estudios, ambos basados en animales de peso, edad y cruce similar, puede deberse al contenido energético de la dieta. En el caso de Ruiz-Nuño *et al.* (2009), la energía metabolizable era de 11,7 MJ/kg, por lo que es posible que el menor contenido energético de la dieta desencadene en una menor eficiencia de retención de E en forma de grasa. En cambio, en corderos ligeros en crecimiento de raza Rasa Aragonesa, Purroy *et al.* (1993) obtuvieron que los corderos que ingerían el mayor contenido en proteína en la dieta (18% PB) presentaban una menor cantidad de grasa omental y mesentérica que los corderos que recibían una dieta con menor proteína (12 y 15% PB), sin registrarse modificaciones en la grasa pélvico-renal.

En lo referente al color del músculo de la canal, se toma como referencia el músculo *Rectus abdominis*, ya que se considera representativo del músculo esquelético de contenido medio en mioglobina (Colomer-Rocher *et al.*, 1988). Además, la valoración objetiva del color del músculo *Rectus abdominis* tiene interés al ser un músculo muy fácil de evaluar y de manipular. El sistema de alimentación (forrajera vs. concentrado) puede modificar el color del *Rectus abdominis* tanto en corderos lechales (Joy *et al.*, 2012) como en corderos tipo ternasco (Carrasco *et al.*, 2009). in embargo, son escasos los estudios que relacionan el contenido en PB de la dieta con el color de la grasa y del músculo *Rectus abdominis*.

### **3.4.2 Calidad de la carne**

La carne debe poseer una serie de características que la hagan apetecible al consumidor, por lo que deberá reunir diversos de requisitos enmarcados dentro del concepto amplio de calidad. Los consumidores demandan productos seguros y de calidad garantizada. El color, precio, veteado y pieza son los factores más importantes al comprar la carne de rumiantes (Bernués *et al.*, 2012), mientras que la terneza, aroma, sabor y jugosidad son los más relacionados con la satisfacción durante el consumo de carne (Robbins *et al.*, 2003). A su vez, el mercado y la comercialización están interesados en que los productos frescos, como es el caso de la carne, presenten una larga vida útil. Por ello, el control del proceso de oxidación de la carne es importante, ya que es una de

las principales razones del deterioro de la carne, afectando al color y la aparición de malos olores tras la formación de compuestos volátiles indeseables. En la presente memoria se estudian las siguientes medidas físico-químicas de carne que pudieran haberse visto afectadas por el contenido en PB de la dieta, ya directamente o indirectamente a través de cambios en el crecimiento y desarrollo por una mayor deposición de grasa en la canal.

#### *Color y pigmentos del músculo Longissimus thoracis et lumborum*

Las preferencias del color varían en función del tipo de consumidor, de factores geográficos, sociales y culturales y, recientemente, de la publicidad y de las técnicas de comercialización. Los consumidores españoles prefieren carnes de corderos tipo ligero con un color rosa pálido (Font i Furtols *et al.*, 2006; Sañudo *et al.*, 2007), ya que asocian el color claro a animales jóvenes. Numerosos factores influyen en el color final de la carne, entre los que se encuentran los propios del animal (como son la raza, la edad, el ejercicio y el peso vivo), manejo (tipo de alimentación, transporte, sacrificio) y los intrínsecos de la carne, destacando el pH y la grasa intramuscular (Sañudo *et al.*, 1996). Respecto a esta última, muchos autores coinciden en que el descenso de la concentración proteica conlleva un aumento de la grasa intramuscular, lo cual está relacionado con un incremento del índice de amarillo (Cisneros *et al.*, 1999; Teye *et al.*, 2006 y Suárez-Belloch *et al.*, 2016). Este valor superior de  $b^*$ , provocado por la reducción de la proteína en la dieta, hace que la carne se vuelva más atractiva para el consumidor (Suárez-Belloch *et al.*, 2016). Alonso *et al.* (2010), afirman que la disminución proteica (de 17% a 15% PB) en cerdos de cebo conlleva un aumento de los índices  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ . Goerl *et al.* (1995) también obtuvieron valores de  $b^*$  cada vez menores al incrementar la proteína bruta entre 6, 10, 13, 16, 19, 22, y 25 % de PB. En este caso, el valor de  $L^*$  no se vio afectado por la cantidad de PB.

Durante el almacenaje se producen unas transformaciones químicas en la carne que afectan al color. La oxidación lipídica, así como la transformación de los pigmentos hemínicos (especialmente la mioglobina y su estado químico), afectan al color de la carne y son indicadores del estado de vida útil de la carne (Wood *et al.*, 2004). En el caso de la evolución del pH de la carne tras el sacrificio, un pH final muy elevado conlleva un color más oscuro, como es el caso de las carnes llamadas DFD (*dark, firm and dry*), mientras que, si el pH es demasiado bajo, la carne tiene un aspecto demasiado claro (PSE: *pale, soft and exudative*), cuya causa es el estrés *ante-mortem* (Maganhini *et al.*, 2007). el motivo de ello es que un pH más bajo provoca la disociación de la Mb, lo que provoca una menor interacción con el O<sub>2</sub>, dando un aspecto más claro a la carne (Tam *et al.*, 1998).

Estudios previos mostraron que el sistema de alimentación modificó el color del *Longissimus thoracis et lumborum* tanto en corderos lechales (Joy *et al.*, 2012) como en corderos tipo ternasco (Carrasco *et al.*, 2009). La carne procedente de animales cebados

con pienso es más clara que la de los animales procedentes del pastoreo o que ingieren forraje (Díaz *et al.*, 2002; Priolo *et al.*, 2002; Ripoll *et al.*, 2013). En cuanto al efecto del nivel de proteína de la dieta en el color de la carne, los estudios son más escasos y contradictorios. Youssef y Barbut (2009) observaron un aumento en el índice de rojo ( $a^*$ ) y un descenso en la luminosidad ( $L^*$ ) en la carne al incrementar la concentración proteica de un 10 a un 13%. Arsenos *et al.* (2007) también obtuvieron un valor inferior de luminosidad en las canales de corderos autóctonos suplementados con un 80 g PB/d de concentrado proteico y sacrificados con un promedio de 37,5 kg PV. Por su parte, Cañequé *et al.* (2003) no observaron diferencias en el color de la carne al proporcionar a corderos de cebo un suplemento proteico comercial con un 17,2% de PB respecto a aquellos alimentados con un 12,6% de PB a base de cebada. Por el contrario, Ponnampalam *et al.* (2004), no vieron diferencias en el color de la carne al variar las concentraciones de proteína dietaria entre 89,5, 92,4 y 104,4 g PB/kg MS.

La mioglobina (Mb) es una proteína sarcoplasmática encargada del transporte del oxígeno que lleva la hemoglobina de la sangre desde los capilares sanguíneos hasta las fibras musculares. Es la proteína principal encargada del color de la carne (Mancini y Hunt, 2005), pero su efecto varía según el tiempo de exposición al oxígeno y entre individuos (Jacob y Petick, 2014). En la carne fresca se puede presentar en tres formas básicas: cuando la tensión de oxígeno es baja, la mioglobina se encuentra en su estado reducido ( $Fe^{2+}$ ), denominado deoximioglobina (DMb) y presentando un color rojo-púrpura. Cuando se expone al oxígeno durante un corto periodo de tiempo se une reversiblemente al mismo formándose la oximioglobina (OMb) y volviéndose de un color rojo brillante. Y, por último, la mioglobina también puede oxidarse pasando su átomo de hierro de  $Fe^{2+}$  a  $Fe^{3+}$ , formándose la metamioglobina (MMb) y tornándose de un color marrón o pardo grisáceo (De la Fuente *et al.*, 2005). El incremento de la Mb, debido a la acción de la oxidación, provoca el descenso de la luminosidad ( $L^*$ ), que hace que la carne se vuelva más oscura e intensa (Rust y Olson, 1973; McKenna *et al.*, 2005 y Jacob y Petick, 2014). Tam *et al.* (1998) relacionaron una mayor la cantidad total de pigmentos hemínicos con un incremento de la saturación o croma ( $C^*$ ) y el aumento de la metamioglobina con el del índice que  $b^*$ , que a su vez ha sido asociado a un incremento en el porcentaje de proteína de la ración (Cheng *et al.*, 2017). Aunque parece no haber una relación bien definida entre la proteína dietaria y la cantidad de pigmentos hemínicos de la sangre, Priolo y Vasta (2007) aseguraron que cualquier situación nutricional restrictiva, por ejemplo, un déficit proteico, puede comprometer la síntesis de estos pigmentos. Esto se debe a que los microorganismos ruminantes son los encargados de sintetizar la vitamina B12, que es un precursor de los pigmentos hemínicos.

### *Oxidación lipídica*

El mercado está interesado en productos frescos y naturales, como es el caso de la carne, que presenten una larga vida útil, para reducir las pérdidas por el desperdicio alimentario. La oxidación de la carne es importante, ya que es una de las principales razones del deterioro de la misma, afectando al color, a las pérdidas por goteo y a la aparición de malos olores (Morrissey *et al.*, 1994 y Gray *et al.*, 1996). Además, esta oxidación es más fácil que ocurra cuando la grasa es insaturada, que es más deseable desde el punto de vista de la salud humana. La oxidación de los lípidos se produce cuando el oxígeno molecular reacciona con los ácidos grasos para formar peróxidos lipídicos. Es un proceso bastante complejo que consiste en tres fases: iniciación, propagación y terminación (Morrissey *et al.*, 1998). Los peróxidos lipídicos no son estables y participan en reacciones en cadena, como es la isomerización y la descomposición, dando lugar a productos secundarios tales como el malondialdehído (MDA), metabolito que se utiliza en la detección de la oxidación.

Tal y como se ha comentado, el mayor grado de insaturación de las grasas demandadas por los consumidores y recomendadas por los responsables de la salud humana aumenta la susceptibilidad de los ácidos grasos a ser oxidados (Wood *et al.*, 1999). La adición de antioxidantes en la carne o en la dieta de los animales es una buena estrategia para mejorar la vida útil del producto. Así, los antioxidantes que se encuentran en la carne de corderos alimentados de pasto que reducen la oxidación lipídica a pesar de que su grasa es más insaturada (Zervas *et al.*, 1999; Lobón *et al.*, 2017). No hemos sido capaces de encontrar información en lo referente a la relación entre el contenido proteico de la ingesta y la oxidación lipídica de la carne en ovino. En porcino, la reducción en la proteína dietaria incrementó la oxidación lipídica pero también la cantidad de intramuscular y el perfil de ácidos grasos (Teye *et al.*, 2006). Por lo que el efecto del nivel de proteína sobre la oxidación lipídica podría ser indirecto a través de la modificación de la deposición de grasa.

### *Composición química de la carne*

La carne es un alimento con notable valor nutritivo compuesto por agua (65-85%), proteína (16-22%) y grasa (2-20%), además de un gran número de elementos en menor proporción, como son las vitaminas, minerales, etc. (Díaz *et al.*, 2005). Asimismo, las proteínas cárnicas son consideradas de alto valor biológico, ya que contienen todos los aminoácidos esenciales, siendo éstos altamente digestibles y de fácil absorción.

Los distintos resultados encontrados en la bibliografía estudiada dejan entrever la complejidad de establecer un patrón de comportamiento entre la dieta y la calidad de la carne. Esta disparidad está relacionada con la influencia que la raza y la edad del cordero tienen sobre la precocidad, ritmo de crecimiento y necesidades. Atti *et al.* (2004) observaron que los cabritos machos (5 meses y 23,3 kg PV) alimentados con un nivel proteico intermedio (130 vs. 100 y 160 g PB/kg PV) tuvieron mayor cantidad de músculo

y menor de grasa, mientras que los que recibieron el pienso con mayor concentración de PB tuvieron una mayor cantidad de grasa total. Por el contrario, Kioumarsi *et al.* (2008) fijaron en un valor cercano al anterior, un 14% PB, el contenido de PB a partir del cual, junto con una concentración energética de 10,5 MJ/kg MS, se incrementaba el contenido de grasa. Al margen del contenido proteico de la ración, Sañudo *et al.* (1998) afirman que lo que determina el mayor engrasamiento de la carne de cordero son los altos niveles de crecimiento durante el periodo de acabado (de 136 a 336 g GMD/día) típicos de los sistemas intensivos.

#### *Composición de ácidos grasos (AG) de la carne*

En los últimos tiempos se ha incrementado el control sobre la nutrición humana debido al aumento en la incidencia de enfermedades cardiovasculares relacionadas con el consumo de grasas saturadas y con el desequilibrio en la ratio AGPI (ácidos grasos poliinsaturados) n-6/n-3. Esto ha llevado a que las recomendaciones nutricionales aconsejen reducir la ingesta de grasas y aumentar el consumo de grasas menos saturadas, caracterizadas por un alto ratio de AGPI/ácidos grasos saturados (AGS), una relación AGPI n-6/n-3 menor que 5 y un contenido de ALC (ácido linoleico conjugado) elevado (Wood *et al.*, 2003). Algunos ácidos grasos saturados, especialmente el láurico (C12:0), mirístico (C14:0) y palmítico (C16:0) aumentan los niveles de colesterol total y colesterol LDL, incrementando el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares (Fernández y West, 2005).

La carne de rumiantes en pastoreo se caracteriza por tener una ratio favorable de n-6/n-3 (Wood y Enser, 1997) y un alto contenido en AGS debido a los procesos de lipólisis y biohidrogenación que los AG sufren en el rumen (Harfoot, 1978; Jenkins, 1993). La lipólisis es el proceso por el que los ésteres pertenecientes a las fracciones lipídicas de las dietas liberan los AG. En la biohidrogenación, estos AG libres son rápidamente hidrogenados por los microrganismos en el rumen, obteniendo productos más saturados. A su vez, la carne de rumiantes también es una fuente importante de ácido  $\alpha$ -linolénico (ALA; C18:3 n-3), de ácido eicosapentanoico (EPA) y de ácido docosahexaenoico (DHA), así como ácido linoleico conjugado (ALC), en particular del isómero cis-9, trans-11 o ácido ruménico (AR). Este último es importante por sus numerosos beneficios en la salud, incluyendo acciones para reducir la carcinogénesis, la aterosclerosis, el inicio de la diabetes y la grasa corporal (Blankson *et al.*, 2000; Houseknecht *et al.*, 1998; Ip y Pariza, 1991; Li y Watkins, 1998).

Al contrario que la ratio AGPI/AGS, la ratio n-6/n-3 es relativamente fácil de modificar mediante la dieta. Un contenido elevado de n-3 se relaciona con una alimentación con alto contenido forrajero, el cual proporciona altos niveles de C18:3 n-3 y bajos de C18:2 n-6, y puede hacer que la ratio se reduzca hasta un valor cercano a 2. Por lo tanto, la carne de cordero procedente de sistemas de producción extensiva tiene una baja relación n-6/n-3, asociada a una alta presencia de AGPI n-3 (Lobón *et al.*, 2017). Esto

contrarresta en cierta medida los efectos negativos sobre el alto contenido en AGS asociados a la carne de rumiantes, ya que el bajo valor de esta ratio también se asocia con efectos beneficiosos para la salud referentes al sistema cardiovascular y (Mozaffarian y Wu, 2012). En cambio, una gran cantidad de n-6 se atribuye a un alto contenido en cereales en la ración, es decir, a un sistema de producción intensivo donde el cebo se realiza a base de concentrado, el cual es rico en linoleico (C18:2 n-6), oleico (C18:1 n-9) y ácidos grasos saturados tales como el palmítico (C16:0) y el esteárico (C18:0). Además, la carne se caracteriza por ser más blanda y aceitosa (Wood *et al.*, 1999).

En relación al efecto del contenido en PB de la dieta sobre la composición de AG, los estudios son escasos. Ponnampalam *et al.* (2004) y Arsenos *et al.* (2007) no obtuvieron diferencias en la composición en AG de la carne al incrementar el aporte nitrogenado de la dieta. Por el contrario, Kemp *et al.* (1980) cuando suplementaron los corderos en pastoreo con un concentrado con 13% de PB obtuvieron mayor contenido de C18:1 (n-9) y AG insaturados totales. Lanza *et al.* (2011) evaluando la inclusión de soja, haba y guisante en piensos que diferían en el contenido en PB no encontraron diferencias en el perfil de AG. Cañeque *et al.* (2003), al comparar un concentrado comercial con un 17,2% PB y una suplementación proteica de cebada con un 12,6% PB, obtuvieron un mayor porcentaje de C18:2 n-6 y menor C15:0 en los animales alimentados con el 17,2% de PB.



## OBJETIVOS

El trabajo se divide en dos partes separadas. El objetivo principal de la primera parte de este trabajo es el estudio de los efectos de la reducción de la PB de dos piensos isoenergéticos en ambas fases del cebo (crecimiento: 18% vs. 20% PB en 14-18 kg PV y acabado: 17% vs. 19% PB en 19-25 kg PV).

Los objetivos parciales del primer estudio son:

1. Evaluar el efecto de la disminución de PB en la ingestión y digestibilidad aparente de los siguientes nutrientes de la ración en cada uno de los dos piensos de ambas fases: materia orgánica, materia seca, nitrógeno, fibra neutro detergente y fibra ácido detergente.
2. Estudiar el balance nitrogenado para cada pienso.
3. Analizar la evolución de los metabolitos sanguíneos (urea, creatinina y  $\beta$ -hidroxibutirato) para cada uno de los tratamientos.

El objetivo principal del segundo estudio es conocer el efecto de estos piensos sobre los rendimientos productivos durante el cebo (14-25 kg PV) de corderos de raza Ripollesa.

Los objetivos parciales del segundo estudio son:

1. Estudiar los parámetros productivos de cebo de cada pienso.
2. Conocer el efecto de los piensos sobre los parámetros de calidad de la canal.
3. Evaluar el efecto de la disminución de PB del pienso en la calidad de la carne.



## MATERIAL Y MÉTODOS

El ensayo de digestibilidad *in vivo* y los análisis laboratoriales se realizaron en las instalaciones del Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA) en Montaña (Zaragoza). El ensayo de cebo de los corderos se realizó en las instalaciones de la granja “el Nial”, perteneciente a la finca experimental de la Cooperativa Guissona (Lleida) de BonÀrea Agrupa.

### **1. PIENSOS**

Se formularon piensos isoenergéticos (11,3 MJ EM/kg MS) con distinto nivel de proteína bruta (PB) para dos etapas del cebo de los corderos: crecimiento (de 14 a 18 kg PV) y acabado (de 18 a 25 kg PV). Los ingredientes de los piensos se presentan en la Tabla 1. Los niveles de contenido en PB del pienso de crecimiento fueron: 18% PB (*Bajo*) y 20% PB (*Control*). En ambos piensos se incluyó decoquinato como coccidiostático. Los niveles de contenido en PB del pienso de la fase de acabado fueron: 17% PB (*Bajo*) y 19% PB (*Control*).

**Tabla 1.** Ingredientes de los piensos de la fase de crecimiento y acabado de los corderos.

	Crecimiento		Acabado	
	Bajo (18%PB)	Control (20%PB)	Bajo (17%PB)	Control (19%PB)
Trigo	30,0	29,9	29,9	29,9
Cebada	21,8	20,5	25,5	23,1
Maíz	21,9	20,5	23,6	23,3
Harina de soja 47	13,3	16,0	7,9	10,7
Granos de destilería de maíz secos	6,0	6,0	6,0	6,0
Colza europea	3,0	3,0	3,0	3,0
Carbonato cálcico	2,3	2,3	2,4	2,4
Sal	0,5	0,5	0,5	0,5
Cloruro amónico	0,5	0,5	0,5	0,5
Corrector	0,3	0,3	0,3	0,3
Premezcla de aceites	0,2	0,2	0,2	0,2

### **2. ENSAYOS**

#### **2.1 Ensayo de digestibilidad *in vivo***

Todos los procedimientos realizados fueron aprobados por el comité de Bienestar animal del CITA y cumplían la normativa de la Directiva 2010/63/EU (Unión Europea, 2010) relativa a la protección de los animales utilizados para fines científicos.

### **2.1.1 Manejo de los animales y muestreos**

Los corderos utilizados en el ensayo de digestibilidad procedieron del rebaño experimental de raza Rasa Aragonesa del CITA. Durante la fase de lactación, los corderos permanecieron con sus madres y fueron destetados días antes del inicio del ensayo recibiendo pienso administrado de manera gradual para que se fueran adaptando. Se seleccionaron aleatoriamente 24 corderos con similares pesos y ganancias medias diarias durante la lactación.

Se realizaron dos ensayos *in vivo*, uno para cada fase del cebo. En la fase de crecimiento se utilizaron 12 corderos (peso vivo inicial:  $14 \pm 0,9$  kg) y en la de acabado otros 12 corderos (peso vivo inicial:  $18 \pm 0,8$  kg).

Los corderos se alojaron en corrales e iniciaron un periodo de adaptación a la ingestión de pienso durante 5 días. Seguidamente, se alojaron individualmente en jaulas de digestibilidad ( $120 \times 50 \times 90$  cm; largo  $\times$  ancho  $\times$  alto). Las jaulas disponían de comedero, bebedero y colector de excreciones, posibilitando la separación de heces y orina mediante una malla metálica. El recipiente para recoger la orina contenía 50 ml de 10% (v:v) de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ).

El periodo de adaptación fue de dos días y el de control de 5 días. Los corderos recibieron pienso *ad libitum*, variando la oferta de pienso en función de la ingestión del animal registrada durante el día anterior, de forma que siempre tuvieran un rehusado aproximado del 10% de lo ofrecido. Diariamente y a primera hora de la mañana, se registró la oferta y el rehusado de forma individual. El pienso ofertado se muestreó y se almacenó congelado hasta futuros análisis. También se tomó muestra del rehusado, alrededor de un 10% del mismo, que se pesó y se desecó a  $60^{\circ}C$  hasta peso constante. Se almacenó una muestra de rehusado por animal.

Las heces y la orina también se recogieron diariamente a primera hora de la mañana. La orina recogida se filtró a través de 4 capas de gasa, se registró el volumen y un 10% de la muestra diaria se almacenó en nevera a  $4^{\circ}C$ . Diariamente se adicionaba el volumen muestreado por cada animal, obteniéndose una única muestra por animal. Las heces se pesaron y se muestrearon, tomando diariamente un 10% del total de heces, que se desecaron a  $60^{\circ}C$  hasta peso constante. Se obtuvo una muestra de heces por animal.

Las muestras de oferta, rehusado y heces se molieron a través de un molino con un tamiz de 1 mm de diámetro (Rotary Mill, ZM200 Retsch, Alemania) y una pequeña parte de las mismas se molió a través de una criba de 0,2 mm. Las muestras se almacenaron a  $-20^{\circ}C$ .

Al inicio y final del ensayo de digestibilidad, los corderos se pesaron y se les extrajo sangre de la vena yugular en tubos heparinizados. La sangre se centrifugó (3000 g durante 15 min a  $4^{\circ}C$ ) hasta obtener el plasma que se almacenó a  $-20^{\circ}C$ .

### **2.1.2 Análisis químicos**

La materia seca (MS), cenizas y proteína bruta (PB) de los piensos ofertados, rehusado y heces se determinaron siguiendo métodos de la AOAC (1999). El contenido de MS se determinó por desecación en una estufa modelo ULM 400 de aire forzado (Memmert, Schwabach, Alemania) a 103°C hasta peso constante (método 934.01). La muestra seca se calcinó en un horno-mufla modelo 367.PE (P-Selecta, Barcelona, España) a 550°C durante 6 horas para determinar el contenido de cenizas (método 942.05). El contenido en materia orgánica (MO) se calculó por diferencia entre la MS y las cenizas. El contenido de nitrógeno (N) se obtuvo mediante el procedimiento Dumas (método 968.06) utilizando un analizador de nitrógeno modelo NA 2100 (Thermoquest SA, Barcelona, España). Los contenidos de fibra neutro detergente (FND), fibra ácido detergente (FAD) y lignina ácido detergente (LAD) del pienso ofertado y rehusado y de las heces se determinaron de acuerdo con el método descrito por Van Soest *et al.* (1991) utilizando el analizador de fibra Ankom 200/220 (Ankom Technology Corporation). Para analizar la fracción FND en el pienso se empleó alfa amilasa estable al calor y la LAD se obtuvo al someter a los residuos de FAD a una solubilización de celulosa con ácido sulfúrico. Todas las fracciones de fibra fueron corregidas por contenido libre de cenizas. El extracto etéreo (EE) del pienso se determinó siguiendo el procedimiento Ankom descrito en AOCS (2005) con un extractor XT10 Ankom (Ankom Technology Corporation, Nueva York, EE.UU.). La energía bruta del pienso se determinó a través de su calor específico de combustión, tomando 1 gramo de muestra en forma de pellet, y llevando a cabo su combustión completa bajo atmósfera de oxígeno (25 atm) en una bomba calorimétrica 1341 Plain Jacket Bomb Calorimeter (Parr Instrument Company, Illinois, EE.UU.).

Se determinaron las concentraciones plasmáticas de urea, como indicador del catabolismo proteico, creatinina, como indicador del metabolismo energético muscular y del β-hidroxibutirato (BHB) para determinar la presencia de cuerpos cetónicos. La urea se determinó mediante un kit espectrofotométrico basado el método cinético UV ureasa GLHD (RAL, Barcelona, España) y la creatinina mediante un kit espectrofotométrico basado en la hidrólisis enzimática de la creatina endógena (RAL, Barcelona, España) y, por último, el BHB se determinó mediante un kit espectrofotométrico basado en la oxidación enzimática del mismo (Randox Laboratories Ltd., Antrim, Reino Unido). Para la realización de estos análisis se utilizó un analizador automático (GernonStar, RAL / TRANSASIA, Dabhel, India).

### **2.1.3 Cálculos matemáticos**

La ingestión diaria de cada uno de los nutrientes se calculó con la siguiente fórmula:

$$Ci \text{ (g)} = Co - Crh$$

Donde Ci es la cantidad de nutriente ingerido (g), Co es la cantidad de nutriente ofrecida y Crh es la cantidad de nutriente que aparece en el rehusado.

Se calculó la digestibilidad de MS (Dms), MO (Dmo), N (Dn), FND (Dfnd) y FAD (Dfad) mediante la siguiente fórmula:

$$Da (\%) = \left( \frac{Ci - Ch}{Ci} \right) \cdot 100$$

Donde Da es la digestibilidad aparente de los diferentes nutrientes de la ración, expresada respecto al porcentaje total, Ci es la cantidad de nutriente ingerido (g) y Ch es la cantidad de nutriente excretado en heces (g).

Se calculó el nitrógeno retenido mediante la siguiente fórmula:

$$Nr (g) = Ni - (Nh + Nu)$$

Donde Nr es el nitrógeno retenido en el organismo, Ni es la cantidad de nitrógeno ingerido, Nh es la cantidad de nitrógeno excretado en heces y Nu es la cantidad de nitrógeno excretado en orina.

El porcentaje de nitrógeno retenido se calculó de la siguiente forma:

$$\text{Retención de N (\%)} = \frac{Nr}{Ni} \cdot 100$$

Donde Nr es el nitrógeno retenido en el organismo y Ni es la cantidad de nitrógeno ingerido.

## 2.2. Ensayo de producción: cebo de corderos

### 2.2.1. Manejo de los animales y muestreos durante el cebo

Se realizó un ensayo para determinar el efecto del nivel de PB en el pienso sobre los parámetros productivos y de calidad de la carne. Para ello, 60 corderos machos destetados (peso vivo:  $14,5 \pm 1,3$  kg; edad: 45-60 días) de raza Rиполеса se alimentaron con pienso y paja. Los corderos se alojaron en 12 corrales (5 corderos/corral;  $1,04 \text{ m}^2/\text{animal}$ ), distribuyéndose en grupos homogéneos según su PV inicial (grandes y pequeños). Los corderos recibieron el pienso de crecimiento desde el inicio del cebo hasta los 19 kg PV, y pienso de acabado desde los 19 kg al sacrificio. La mitad de los corderos recibió el pienso con 18% PB durante el crecimiento y 17% durante el acabado (bajo). La otra mitad recibió el pienso con 20% PB durante el crecimiento y 19% durante la fase de acabado (control). Los corderos recibieron entre un 10-20% más de pienso y paja que la ingestión voluntaria estimada de la semana anterior con el objetivo de que el comedero nunca estuviera vacío y simular las condiciones del cebo intensivo *ad libitum*. Los animales tuvieron agua a libre disposición.

El consumo medio diario de pienso y paja se controló mediante el registro de la oferta y el rehusado por corral y semana ( $n=6$  para cada tratamiento). Los animales se pesaron individualmente una vez por semana y se calculó la ganancia media diaria (GMD). Además, se calculó el índice de conversión (IC) por corral.

$$IC = \frac{\text{consumo medio diario}}{\text{GMD}}$$

Cuando los corderos alcanzaron una media de 24,6 ( $\pm 0,23$ ) kg PV, fueron trasladados al matadero comercial que dispone la Cooperativa Guissona, situado a unos 3 km aproximadamente. Los animales fueron sacrificados a las 2 horas de llegar al matadero, tras un periodo de ayuno de 18 h en la granja. De todos los animales del segundo periodo, se eligieron 12 animales de cada tratamiento con la finalidad de estudiar el efecto del nivel de proteína de la dieta sobre los rendimientos, las características de la canal y de la carne.

#### 2.2.2. Sacrificio de los corderos y calidad de la canal

Los corderos se sacrificaron según la normativa oficial vigente Reglamento (CE) 1099/2009. Los corderos se pesaron antes del sacrificio y tras el sacrificio se pesaron las canales (sin cabeza, asaduras ni extremos distales de las extremidades y con los testículos, riñones, grasa perirrenal y omento mayor). A partir de estos pesos, se calculó el rendimiento canal.

$$\text{Rendimiento canal} = \frac{\text{Peso canal caliente}}{\text{Peso al sacrificio}} \times 100$$

Las canales se mantuvieron a 4°C durante 24 h en total oscuridad. A las 24 h del sacrificio, y se evaluó el grado de engrasamiento según el sistema de clasificación europeo de canales de cordero ligero (Reglamento (CEE) 461/93). De cada canal, se midió el color del músculo *Rectus abdominis* en la superficie interna del músculo, al que previamente se le retiró la fascia con un bisturí y colocándolo encima de un azulejo blanco con el fin de que el color del soporte no influyera en la medición. El color instrumental se determinó utilizando un colorímetro Minolta spectrophotometer CM-2006d (Konica Minolta Holdings, Inc., Osaka, Japón). Se utilizó el iluminante D65, dada su mayor similitud con la luz de día (color de temperatura 6504 K) y el observador de 10° y 8 mm de diámetro de la apertura y calibrado con la placa de blanco. Se registró el espectro de reflectancia en porcentaje desde los 360 nm a 740 nm cada 10 nm. Se determinaron la luminosidad ( $L^*$ ), el índice de rojo ( $a^*$ ) y el índice de amarillo ( $b^*$ ) (CIE, 1986) y se calcularon la saturación o croma  $C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$  y el tono  $H^\circ = \tan^{-1} \left( \frac{b^*}{a^*} \right) \times \frac{180}{\pi}$  (Wyszecki y Styles, 1982).

Tras medir el color, se separaron las canales en dos mitades transversales y se extrajo el costillar izquierdo, que fue trasladado a las instalaciones del CITA para realizar los análisis de la calidad de la carne.

#### 2.2.3. Calidad de la carne

En el matadero del CITA, se extrajo el músculo *Longissimus thoracis et lumborum* (LTL) de cada costillar para analizar el color, la oxidación lipídica, la composición química y el perfil de ácidos grasos (AG). La porción de la 6<sup>a</sup> a la 13<sup>a</sup> vértebra torácica se dividió

en muestras de 2,5 cm de grosor para las determinaciones del color y la oxidación lipídica. La porción de la 4<sup>a</sup> a la 6<sup>a</sup> vértebra lumbar fue envasada al vacío, congelada y almacenada para la determinación de la composición química y el perfil de AG.

#### *Color del músculo Longissimus thoracis et lumborum*

Los trozos de lomo de 2,5 cm se colocaron aleatoriamente en bandejas envueltas en film de polivinilo y se almacenaron a 4°C en oscuridad hasta medir su color a los 0, 3 o 6 días. Las muestras de 0 días se determinaron tras 1 hora del *blooming* (máximo apogeo de color). Inmediatamente después de determinar el color, las muestras se envasaron al vacío y se congelaron (-20°C) para determinar la oxidación lipídica.

El color instrumental se determinó utilizando el colorímetro Minolta spectrophotometer CM-2006d de la misma manera que en el músculo *Rectus abdominis*. Además de obtener la L\*, a\*, b\*, C\* y H°, se estimaron los porcentajes de pigmentos hemínicos de la carne, por el método de cuantificación sin valores límite (Krzywicki, 1979; AMSA, 2012). El porcentaje relativo de metamioglobina (MMb) se estimó a partir de la relación entre las absorbancias de los pigmentos a 572 nm y 525 nm, restándoles a cada una la absorbancia a 730 nm, que corresponde a la reflectancia de la carne sin pigmento y se usa a modo de blanco.

$$MMb (\%) = \left[ 1,395 - \left( \frac{A^{572} - A^{730}}{A^{525} - A^{730}} \right) \right] \cdot 100$$

El porcentaje relativo de desoximiglobina (DMb) se estimó a partir de la relación entre las absorbancias de los pigmentos a 473 nm y a 525 nm, restándoles a cada una la absorbancia a 730 nm.

$$DMb (\%) = \left[ 2,375 \cdot \left( 1 - \frac{A^{473} - A^{730}}{A^{525} - A^{730}} \right) \right] \cdot 100$$

El porcentaje relativo de oximiglobina (OMb) se obtuvo por diferencia de los dos valores anteriores:

$$OMb (\%) = 100 - (\%DMb + \%MMb)$$

#### *Oxidación lipídica*

Para el análisis del estrés oxidativo se empleó el método propuesto por Bertolín *et al.* (2019), procedimiento mediante el cual se determina el malondialdehído en carne liofilizada como biomarcador de la oxidación lipídica mediante cromatografía líquida de ultra-alta resolución (UPLC) con detección de absorbancia y fluorescencia tras la derivatización de este compuesto con ácido 2-tiobarbitúrico. Para ello, las muestras procedentes de la determinación del color se liofilizaron, picaron, envasaron al vacío y congelaron a -20°C hasta su análisis.

Para el análisis se prepararon 4 disoluciones: butil-hidroxi-tolueno (BHT) en etanol al 7,2%, acetonitrilo (ACN): agua milli-Q (30:70; v:v), ácido 2-tiobarbitúrico (TBA; 10 mM) y tricloroacético (TCA; 10%). Además, se preparó la recta patrón a partir de una disolución de 10 mM de TMP (tetrametoxipropano) en 10% (p/v) de TCA en agua ultrapura, como precursor del MDA tras su hidrólisis.

En un tubo de polipropileno, se mezcló 1 g de carne liofilizada (balanza analítica Mettler Toledo XS204) y 50 µl de la disolución de BHT en etanol al 7,2% y 10 ml de TCA al 10% en agua milli-Q. La mezcla se homogenizó en el ultraturrax Micra D8 homogenizer (Labolan, España). A continuación, se limpió el ultraturrax con 10 ml de TCA en agua milli-Q para recuperar toda la disolución sobre el tubo, que se centrifugó (centrifuga refrigerada durante 15 minutos a 4000 rpm y 4°C. El sobrenadante se filtró a través de un filtro de papel de 150 mm, recuperándolo en un bote de plástico y agitando el extracto manualmente. Se pipeteó 1 ml en un tubo de vidrio al que se le añadió 1 ml de la disolución 10 mM de TBA y se agitó en el vórtex (agitador de tubos Heidolph Multi Reax) a máxima potencia durante 10-15 segundos. Posteriormente, se incubó en un baño termostatizado de agua *Wisd* a 100°C con agitación a 100 rpm durante 45 minutos, se dejó enfriar a temperatura ambiente y se agitó en el vórtex. Se guardaron 150 µl del extracto y 850 µl de la mezcla de ACN: agua milli-Q (30:70) en un vial para cromatografía color ámbar.

La determinación de MDA se realizó mediante un cromatógrafo de líquidos Waters Acquity H-Class equipado con una columna Acquity UPLC HSS PFP 2,1 mm x 100 mm x 1,8 µm y un detector de fluorescencia (2475 Multi λ Fluorescence Detector) todo ello controlado por el software Empower 3 (Waters, Milford, Massachusetts, EE.UU.). La fase móvil utilizada consistió en una mezcla fija de 25% de ACN y 75% de 0,3% (p/v) H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> en agua ultrapura y un flujo constante de 0,2 ml/min. La cuantificación se realizó mediante calibración externa y regresión lineal por fluorescencia con unas longitudes de onda de excitación y emisión de 530 nm y 550 nm respectivamente, sometiendo tanto a los patrones de TMP y a las muestras al mismo proceso de derivatización con TBA.

#### *Composición química del músculo*

Las muestras de carne se picaron, congelaron a -20°C y liofilizaron. Se calculó el porcentaje de MS, por diferencia de pesadas antes y después de la liofilización. El contenido en PB ( $N \times 6,25$ ) se determinó según el método propuesto por Dumas (AOAC, 1999) utilizando el analizador de nitrógeno (modelo NA 2100, CE instrumentos, Thermoquest SA) y el contenido en grasa intramuscular mediante un Ankom XT10 (AOCS, 2005).

#### *Composición de ácidos grasos del músculo*

Se utilizó el siguiente método basado en la técnica descrita por Lee *et al.* (2012). Brevemente, se mezclaron 0,5 g de carne liofilizada y 1 ml de la disolución del estándar

interno (C23:0) en 2 ml de heptano en un tubo de polipropileno. Después, se añadieron 4 ml de la disolución de metóxido de sodio/CH<sub>3</sub>OH, se homogenizó con un vórtex, se agitó (agitador de tubos Heidolph Multi Reax) durante 20 minutos a 50°C y se dejó enfriar. Posteriormente, se añadieron 4 ml de la disolución de cloruro de acetilo/CH<sub>3</sub>OH 1:10 (v:v), se homogenizó con un vórtex, se agitó durante 60 minutos a 50°C. Tras enfriarse, se añadieron 2 ml de agua milli-Q, se homogeneizó 30 segundos y se centrifugó durante 5 minutos a 3.500 rpm y 10 °C. Después, la fase superior (heptano) se trasvasó a un tubo de 5 ml en el que previamente se había añadido 10-15 mg de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> anhidro, con el fin de eliminar trazas de agua. Se centrifugó durante 5 minutos a 3.500 rpm a 10°C, llevando 1 ml de este sobrenadante a un vial cromatográfico.

La muestra se inyectó en el cromatógrafo de gases *Bruker 436 Scion*, equipado con columna capilar SP-2560 (200 m x 0,25 mm D.I. x 0,20 µm grosor de película) de Supelco. El análisis se realizó inyectando de 1 µl (0,1 min), split de 1:25 a 260°C y temperatura inicial de horno de 175°C durante 90 min, seguida de una rampa de temperatura de 5°C/min hasta alcanzar los 210°C (83 min). La temperatura deseada para el detector de ionización de llama se sitúa en los 250°C y la duración total de la prueba es de 180 min.

La identificación de cada ácido graso se realizó comparando los tiempos de retención de los obtenidos en las muestras y los proporcionados por la inyección, bajo las mismas condiciones cromatográficas, de diferentes materiales de referencia comerciales: GLC532, GLC401, GLC643, GLC642, GLC538, GLC463 (Nu-Chek Prep, Inc., Elysian, Minnesota, EE.UU.), mixture BR1 y mixture BR4 (Larodan Research Grade Lipids, Solna, Suecia). Para la identificación del resto de ácidos grasos no presentes en los materiales de referencia comerciales, se usaron los tiempos de retención relativos observados en la bibliografía bajo condiciones cromatográficas y muestras similares (Kramer *et al.*, 1997; Alves y Bessa, 2009; Lee *et al.*, 2012; Bravo-Lamas *et al.*, 2016).

De cada ácido graso se obtuvo su cantidad relativa y su cantidad absoluta gracias a la adición de un estándar interno (C23:0) de concentración conocida. Para la realización de los cálculos, en ambos casos se siguieron las pautas marcadas por la norma de calidad (UNE-EN ISO 12966).

Una vez identificados individualmente, se calculó la suma total de AG saturados (AGS), monoinsaturados (AGMI) y polinsaturados (AGPI), AGPI n-6 (C18:2 n-6 + C18:3 n-6 + C19:2 n-6 + C20:2 n-6 + C20:3 n-6 + C20:4 n-6 + C22:4 n-6 + C22:5 n-6) y AGPI n-3 (C18:3 n-3 + C20:5 n-3 + C22:5 n-3 + C22:6 n-3). Asimismo, se calcularon las ratios nutricionales AGPI/AGS y los AGPI n-6/n-3.

### 3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El tratamiento estadístico de los resultados se realizó con el programa estadístico SAS (*SAS statistical software*, v.9.3; SAS Inst. Inc., Cary, NC; EE.UU.).

Los datos individuales de digestibilidad, ingestión, balance nitrogenado, catabolitos plasmáticos (BHB, urea y creatinina) se analizaron por separado para los dos períodos. Se realizó un análisis de varianza con el procedimiento *glm* (*general linear models*) con el nivel de PB como efecto fijo.

Los datos individuales del ensayo de cebo de corderos de PV, ganancia media diaria, características de la canal, composición química y AG de la carne se analizaron con el nivel de PB como efecto fijo. La ingestión de pienso y paja e IC se analizaron por corral y el nivel de PB y el bloque se consideraron efectos fijos. El color y oxidación lipídica del músculo se analizaron con un modelo mixto utilizando el procedimiento *mixed* para medidas repetidas basadas en los ajustes de los grados de libertad de Kenward-Roger para tener en cuenta valores faltantes. Los efectos fijos fueron el nivel de PB del pienso, el día de medida y la interacción entre ambos y el efecto aleatorio fue el cordero.

Para todos los análisis se calcularon las medias mínima cuadráticas y se compararon entre ellas con el test de Tukey. El nivel de significación elegido fue de  $P<0,05$ .



## RESULTADOS

### 1. ALIMENTOS

La composición química y el perfil de ácidos grasos de los piensos se presenta en la Tabla 2. El contenido en proteína bruta difirió en el 2% en cada uno de los dos piensos de los dos períodos, tal y como estaba previsto. El resto de componentes de los piensos fue muy similar dentro de cada periodo.

**Tabla 2.** Composición química y perfil de ácidos grasos (AG) (media ± desviación estándar) de los piensos de la fase de crecimiento y la de acabado.

	Fase de crecimiento		Fase de acabado	
	Bajo	Control	Bajo	Control
	(18% PB)	(20% PB)	(17%PB)	(19% PB)
Materia seca (MS)	88,3 ± 0,02	88,0 ± 0,10	87,4 ± 0,09	88,0 ± 0,13
Proteína bruta (% MS)	18,3 ± 0,2	20,4 ± 0,4	17,4 ± 0,2	19,2 ± 0,1
Grasa bruta (%MS)	2,2 ± 0,1	2,1 ± 0,1	2,2 ± 0,1	2,4 ± 0,3
Fibra neutro detergente (%MS)	18,6 ± 0,3	21,0 ± 0,1	26,4 ± 0,5	25,5 ± 0,4
Fibra ácido detergente (%MS)	7,05 ± 0,40	8,2 ± 0,3	8,47 ± 0,74	7,86 ± 0,76
Lignina ácido detergente (%MS)	1,23 ± 0,01	1,31 ± 0,11	1,14 ± 0,13	1,08 ± 0,24
Almidón (%MS)	44,9 ± 0,4	41,9 ± 0,6	44,4 ± 0,3	43,4 ± 0,3
Energía bruta (MJ/kg MS)	12,7 ± 0,2	12,5 ± 0,1	12,3 ± 0,3	12,5 ± 0,2
AG (% AG identificados)				
C12:0	0,14 ± 0,01	0,07 ± 0,09	0,22 ± 0,13	0,16 ± 0,03
C14:0	0,30 ± 0,01	0,2 ± 0,02	0,63 ± 0,57	0,32 ± 0,01
C16:0	18,6 ± 0,7	19,8 ± 0,1	19,1 ± 1,5	19,6 ± 0,6
C16:1n-9	0,25 ± 0,03	0,12 ± 0,01	0,20 ± 0,01	0,21 ± 0,02
C17:0	0,14 ± 0,02	0,12 ± 0,01	0,17 ± 0,06	0,12 ± 0,01
C18:0	4,84 ± 0,68	5,91 ± 0,16	4,97 ± 1,22	5,10 ± 0,71
C18:1n-6	22,2 ± 0,93	20,2 ± 0,1	20,7 ± 0,1	21,0 ± 0,31
C18:2n-6	48,5 ± 0,37	48,4 ± 0,1	49,3 ± 3,2	48,5 ± 0,8
C18:3n-3	3,27 ± 0,01	3,27 ± 0,09	3,09 ± 0,09	3,34 ± 0,07
C20:0	0,30 ± 0,01	0,29 ± 0,01	0,27 ± 0,01	0,30 ± 0,01
C22:0	0,13 ± 0,01	0,13 ± 0,01	0,12 ± 0,01	0,14 ± 0,01

### 2. PARÁMETROS DE DIGESTIBILIDAD APARENTE *IN VIVO*

#### 2.1 Periodo de crecimiento

El consumo medio diario fue de 547 y 516 g/d, para el pienso con un 18% y 20%PB (*e.e.m.=47; P=0,65*), respectivamente. La reducción de PB del pienso no afectó ni a la digestibilidad aparente de la MS, ni a la de la MO y tampoco a la del N (*P>0,05*) (Tabla

3). Sin embargo, la disminución de PB tendió a reducir la digestibilidad aparente de FND ( $P=0,10$ ) y FAD ( $P=0,06$ ).

**Tabla 3.** Efecto del contenido en proteína bruta de los piensos en la digestibilidad de la materia seca (Dms), materia orgánica (Dmo), nitrógeno (Dn), fibra neutro detergente (Dfnd) y ácido detergente (Dfad) durante el periodo de crecimiento.

	Bajo (18%PB)	Control (20%PB)	Error estándar	P-valor
n	6	6	-	-
Dms (%)	82,71	81,58	1,10	0,49
Dmo (%)	84,08	82,89	1,02	0,43
Dn (%)	79,02	78,23	1,67	0,75
Dfnd (%)	53,73	61,51	3,02	0,10
Dfad (%)	48,33	57,8	3,15	0,06

La reducción del contenido en PB tampoco afectó a ningún parámetro del balance nitrogenado (Tabla 4) ni a las concentraciones plasmáticas de los metabolitos analizados (Tabla 5) ( $P>0,05$ ).

**Tabla 4.** Efecto del contenido en proteína bruta de los piensos en el balance nitrogenado en la fase de crecimiento.

	Bajo (18%PB)	Control (20%PB)	Error estándar	P-valor
N ingerido (g/d)	16,1	17	1,5	0,68
N excretado orina (g/d)	2,54	2,4	0,21	0,65
N excretado heces (g/d)	3,37	3,61	0,35	0,65
N excretado total (g/d)	5,91	6,01	0,45	0,89
N retenido (g/d)	10,1	10,9	1,2	0,64
Retención N (% N ingerido)	62,79	63,75	2,12	0,76

**Tabla 5.** Efecto del contenido en proteína bruta de los piensos en los metabolitos sanguíneos en la fase de crecimiento.

	Bajo (18%PB)	Control (20%PB)	Error estándar	P-valor
$\beta$ -hidroxibutirato (mmol/l)	0,16	0,21	0,05	0,55
Urea (mmol/l)	3,40	3,64	0,42	0,70
Creatinina ( $\mu$ mol/l)	38,01	43,61	6,33	0,55

## 2.1 Periodo de acabado

En la fase de acabado, la ingestión de pienso fue de 744 y 693 g/d para el pienso con 17 y 19% de PB (e.e.m.=40;  $P=0,38$ ), respectivamente. La reducción del contenido de

proteína bruta del pienso tampoco tuvo efecto sobre la digestibilidad aparente de los nutrientes en la fase de acabado (Tabla 6).

**Tabla 6.** Efecto del contenido en proteína bruta de los piensos en la digestibilidad de la materia seca (DMs), materia orgánica (DMo), Nitrógeno (Dn), fibra neutro detergente (Dfnd) y ácido detergente (Dfad) durante el periodo de acabado.

	Bajo (17%PB)	Control (19%PB)	Error estándar	P-valor
n	6	6	-	-
Dms(%)	84,12	84,92	1,07	0,61
Dmo (%)	85,40	85,79	1,06	0,80
Dn (%)	78,68	79,92	1,65	0,61
Dfnd(%)	68,93	73,60	2,26	0,17
Dfad (%)	64,09	64,04	3,13	0,99

La disminución del contenido en PB del pienso tendió a reducir el nitrógeno excretado en orina ( $P=0,07$ ) y el nitrógeno excretado total ( $P=0,08$ ) en la fase de acabado (Tabla 7), aunque no afectó a la retención de N ( $P>0,05$ ). En cuanto a los metabolitos en sangre, se registró una tendencia a disminuir la concentración BHB en el plasma cuando los corderos ingerían la dieta con menor contenido en PB ( $P=0,09$ ), pero no afectó a las concentraciones de urea y creatinina (Tabla 8).

**Tabla 7.** Efecto del contenido en proteína bruta de los piensos en la fase de acabado en el balance nitrogenado (N).

	Bajo (17%PB)	Control (19%PB)	Error estándar	P-valor
N ingerido (g/d)	20,9	21,3	1,2	0,83
N excretado orina (g/d)	2,99	4,28	0,46	0,07
N excretado heces (g/d)	4,49	4,14	0,32	0,46
N excretado total (g/d)	7,48	8,42	0,35	0,08
N retenido (g/d)	13,41	12,84	1	0,69
Retención N (% N ingerido)	64,03	59,94	1,63	0,11

**Tabla 8.** Efecto del contenido en proteína bruta de los piensos en los metabolitos sanguíneos en la fase de acabado.

	Bajo (17%PB)	Control (19%PB)	Error estándar	P-valor
β-hidroxibutirato (mmol/l)	0,25	0,36	0,04	0,09
Urea (mmol/l)	4,58	5,19	0,44	0,35
Creatinina (μmol/l)	60,92	63,21	4,62	0,73

#### 4. PARÁMETROS PRODUCTIVOS, CALIDAD DE LA CANAL Y LA CARNE

##### 3.1 Parámetros productivos

La reducción de la concentración proteica del pienso no afectó a las ganancias medias diarias ni al peso vivo final (Tabla 9;  $P>0,05$ ). En relación al consumo diario de pienso, se observó una tendencia a ser más elevado en el tratamiento bajo en proteína ( $P=0,08$ ), mientras que no hubo diferencias entre tratamientos en el consumo de paja ni en el índice de conversión ( $P>0,05$ ).

**Tabla 9.** Efecto del contenido en proteína bruta de los piensos en los principales parámetros productivos del cebo de los corderos.

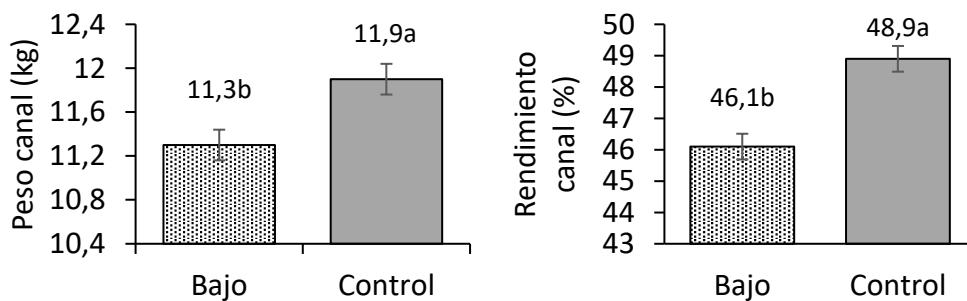
	Bajo <sup>1</sup>	Control <sup>2</sup>	Error estándar	P-valor
<i>n</i>	12	11	-	-
Peso vivo inicial (kg)	14,2	14,3	0,20	0,71
Ganancia de peso (g/d)	251	248	8,3	0,58
Peso vivo final (kg)	24,7	24,5	0,23	0,55
Duración del cebo (d)	42	42	-	-
<i>n</i>	5	5	-	-
Consumo de pienso (g MS/d)	798	749	17,2	0,08
Consumo de paja (g MS/d)	107	112	4,5	0,57
Índice de conversión (kg/kg)	3,19	3,08	0,083	0,32

<sup>1</sup>Período de crecimiento: 18% PB y periodo de cebo: 17% PB

<sup>2</sup>Período de crecimiento: 20% PB y periodo de cebo: 19% PB.

##### 3.2 Calidad de la canal

Tal y como se muestra en la Figura 1, la reducción proteica afectó negativamente al peso canal ( $P=0,04$ ) y al rendimiento canal ( $P=0,002$ ). Todos los animales obtuvieron las mismas valoraciones de engrasamiento de la canal (nivel medio; puntuación 3) según la clasificación europea de las canales ligeras.



**Figura 1.** Efecto del contenido en proteína bruta de los piensos en la calidad de la canal.

Control: 20% PB en periodo de crecimiento y 19% PB en periodo de cebo; Bajo: 18% PB en periodo de crecimiento y 17% PB en periodo de cebo.

Letras distintas implican diferencias  $P<0,05$ .

El nivel de proteína bruta del pienso no afectó a ningún parámetro del color del músculo *Rectus abdominis* (Tabla 10;  $P>0,05$ ), excepto el índice de amarillo ( $P=0,09$ ) que presentó una tendencia ( $P=0,09$ ).

**Tabla 10.** Efecto del contenido en proteína bruta de los piensos en los de los parámetros de color del músculo *Rectus abdominis*.

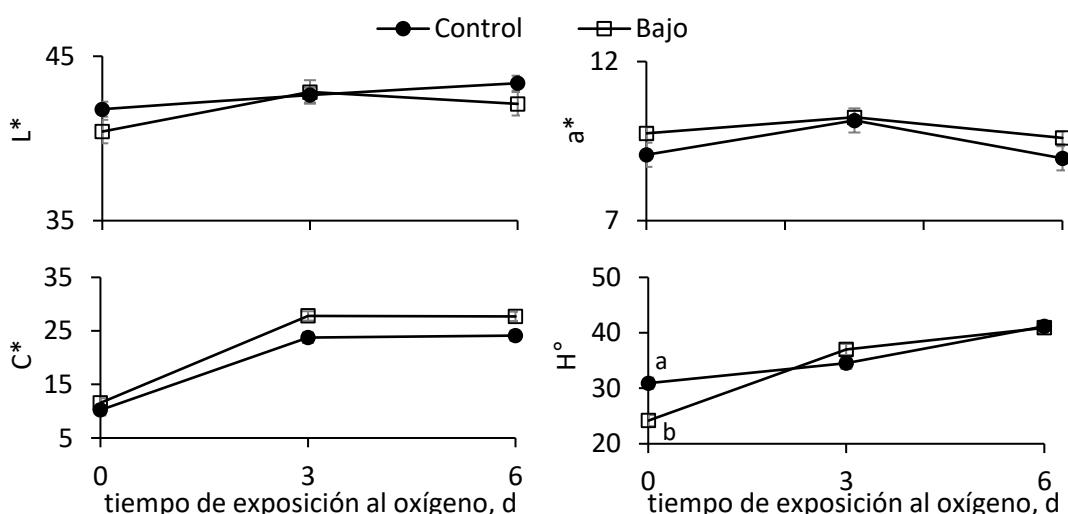
	Bajo <sup>1</sup>	Control <sup>2</sup>	Error estándar	P-valor
n	12	11	-	-
Luminosidad (L*)	45,62	47,73	1,05	0,18
Índice de rojo (a*)	12,56	12,47	0,47	0,89
Índice de amarillo (b*)	7,93	9,26	0,52	0,09
Tono (H°)	32,48	36,26	1,69	0,13
Saturación (C*)	14,89	15,64	0,53	0,33

<sup>1</sup>Periodo de crecimiento: 18% PB y periodo de cebo: 17% PB

<sup>2</sup>Periodo de crecimiento: 20% PB y periodo de cebo: 19% PB.

### 3.3 Calidad de la carne

No hubo diferencias significativas entre los valores de pH de la carne de los animales alimentados con el pienso control y con bajo contenido en proteína, con unos valores de 5,58 y 5,59, respectivamente ( $e.e.m=0,02$ ;  $P=0,85$ ). En cuanto a los parámetros del color del músculo LTL, la luminosidad, índice de rojo y la saturación de la carne se vieron únicamente afectados por el tiempo de exposición al oxígeno ( $P=0,005$ ,  $P=0,002$  y  $P<0,001$ ; respectivamente) (Figura 2).



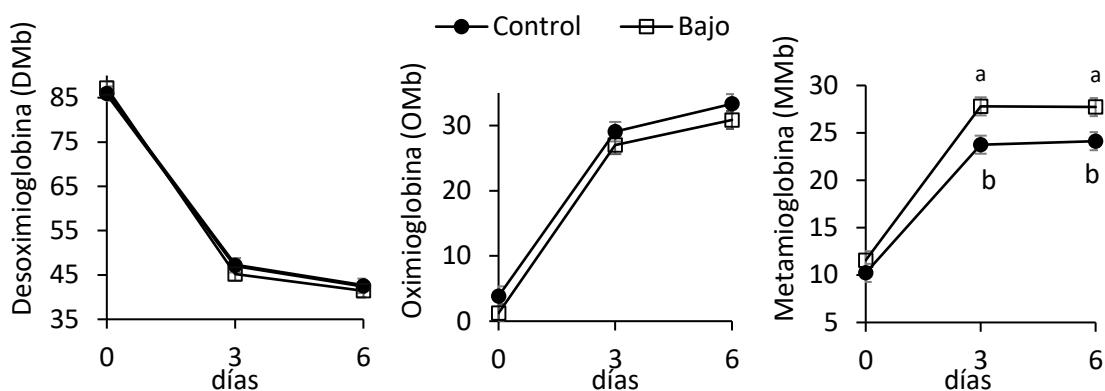
**Figura 2.** Evolución de la luminosidad (L\*), índice de rojo (a\*), saturación (C\*) y tono (H°) del músculo *Longissimus thoracis et lumborum* según el contenido en proteína bruta del pienso durante la exposición al oxígeno.

Control: 20% PB en periodo de crecimiento y 19% PB en periodo de cebo; Bajo: 18% PB en periodo de crecimiento y 17% PB en periodo de cebo.

En un parámetro y día de medición: letras distintas implican diferencias  $P<0,05$ .

El tono ( $H^\circ$ ) se vio afectado por la interacción entre la proteína bruta y el tiempo de exposición al oxígeno ( $P=0,01$ ). En el momento del corte (d 0), el tono fue mayor en los animales alimentados con el pienso Control (30,9 vs. 24,2;  $e.e.m=2,26$ ;  $P=0,03$ ). Sin embargo, las diferencias entre tratamientos desaparecieron al incrementar el tiempo de exposición ( $P>0,05$ ).

En cuanto a los pigmentos hemínicos, la desoximoglobina (DMb) y la oximoglobina (OMb) solo se vieron afectadas por el tiempo de exposición al oxígeno ( $P<0,001$ ), mientras que la metamioglobina (MMb) tendió a verse afectada por la interacción entre el tratamiento y tiempo ( $P=0,09$ ; Figura 3). Ésta fue mayor en la carne de los corderos del tratamiento bajo en proteína a los 3 días (27,8 vs. 23,8;  $e.e.m=3,36$ ;  $P=0,002$ ) y 6 días (27,7 vs. 24,1;  $e.e.m=2,99$ ;  $P=0,005$ ) de exposición.

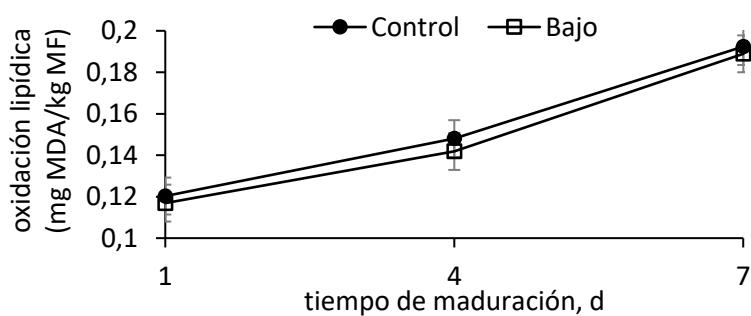


**Figura 3.** Evolución de pigmentos hemínicos del músculo *Longissimus thoracis et lumborum* según el contenido de proteína bruta del pienso durante la exposición al oxígeno.

Control: 20% PB en periodo de crecimiento y 19% PB en periodo de cebo; Bajo: 18% PB en periodo de crecimiento y 17% PB en periodo de cebo.

En un parámetro y día de medición: letras distintas implican diferencias  $P<0,05$ .

La oxidación lipídica de la carne únicamente estuvo afectada por el tiempo de exposición al oxígeno ( $P<0,001$ ), no registrándose ningún efecto del nivel de proteína bruta del pienso ( $P=0,68$ ; Figura 4).



**Figura 4.** Evolución de la oxidación lipídica en músculo *Longissimus thoracis et lumborum* según el contenido de proteína bruta del pienso con el tiempo de maduración.

Control: 20% PB en periodo de crecimiento y 19% PB en periodo de cebo; Bajo: 18% PB en periodo de crecimiento y 17% PB en periodo de cebo.

El contenido en proteína bruta no afectó a la composición química de la carne y tuvo escaso efecto sobre la mayoría de los ácidos grasos del músculo (Tabla 11). La disminución de la proteína en la dieta únicamente tendió a reducir el porcentaje de C18:1 14c ( $P=0,05$ ), incrementó el porcentaje de C18:2 9c,12t ( $P=0,04$ ) y tendió a incrementar los porcentajes de C20:2 n-6 ( $P=0,07$ ), C20:4 n-6 ( $P=0,06$ ) y C22:0 ( $P=0,05$ ).

**Tabla 11.** Efecto del contenido en proteína bruta de los piensos en la composición química y en los ácidos grasos (AG) del músculo *Longissimus thoracis et lumborum*.

	Bajo <sup>1</sup>	Control <sup>2</sup>	Error estándar	P-valor
<i>n</i>	12	11	-	-
Grasa bruta (%MS)	1,43	1,25	0,089	0,31
Proteína bruta (%MS)	19,99	19,96	0,123	0,90
AG (% AG identificados)				
C10:0	0,20	0,22	0,007	0,51
C12:0	0,20	0,23	0,013	0,27
C14:0	1,58	1,73	0,084	0,40
C15:0	0,50	0,47	0,020	0,46
C16:0	5,69	5,72	0,213	0,92
C16:1 9c	1,17	1,18	0,037	0,80
C17:0	1,70	1,55	0,089	0,42
C17:1 5c	1,12	1,03	0,091	0,62
17:1 9c	1,01	0,93	0,045	0,40
C18:0	11,45	11,54	0,253	0,86
C18:1 9c	20,63	21,91	0,614	0,31
C18:1 10t	4,02	3,50	0,297	0,39
C18:1 14c	0,06	0,08	0,002	0,05
C18:1 11c	2,48	2,53	0,067	0,76
C18:2 9c,12t	0,02	0,01	0,003	0,04
C18:2n-6	12,22	11,40	0,426	0,35
C18:3n-3	0,38	0,43	0,018	0,19
C20:2n-6	0,1	0,08	0,006	0,07
C20:4n-6	4,27	3,74	0,134	0,06
C20:5n-3	0,28	0,28	0,019	0,96
C22:0	0,08	0,07	0,003	0,05
C22:5n-3	0,28	0,28	0,024	0,96
C22:5n-6	0,1	0,08	0,006	0,18
C22:6n-3	0,20	0,21	0,012	0,55

<sup>1</sup> Período de crecimiento: 18% PB y periodo de cebo: 17% PB.

<sup>2</sup> Período de crecimiento: 20% PB y periodo de cebo: 19% PB.

Los efectos que se observaron en los ácidos grasos individuales no se tradujeron en diferencias en los principales grupos de ácidos grasos de la carne ni en las ratios AGPI/AGS y n-6/n-3 (Tabla 12).

**Tabla 12.** Efecto del contenido en proteína bruta de los piensos en los sumatorios y ratios de los principales ácidos grasos (AG) del músculo *Longissimus thoracis et lumborum*.

	Bajo <sup>1</sup>	Control <sup>2</sup>	Error estándar	P-valor
AG saturado (AGS)	45,3	45,6	0,27	0,53
AG monoinsaturado (AGMI)	34,5	35,5	0,39	0,19
AG poliinsaturado (AGPI)	20,3	18,9	0,54	0,21
AGPI/AGS	0,45	0,41	0,014	0,22
AGPI n-6	17,6	16,2	0,56	0,21
AGPI n-3	1,5	1,49	0,06	0,94
n6/n3	11,9	11,2	0,49	0,42

<sup>1</sup> Periodo de crecimiento: 18% PB y periodo de cebo: 17% PB.

<sup>2</sup> Periodo de crecimiento: 20% PB y periodo de cebo: 19% PB.

## DISCUSIÓN

### 1. ALIMENTOS

La concentración proteica final de los piensos fue similar a la esperada, habiendo una diferencia de dos unidades porcentuales entre ambos piensos en cada fase del cebo, suponiendo un 10-11% respecto a los valores habituales para el cebo. Los ingredientes fueron similares entre ellos, dentro de cada fase de estudio, y únicamente variaron las cantidades de harina de soja, que disminuyeron para obtener el pienso con menor contenido en proteína, mientras que las de maíz y cebada incrementaron. Los piensos fueron isoenergéticos y con una composición similar, por lo que la diferencias entre tratamientos se pueden relacionar directamente con los cambios en la concentración proteica.

### 2. ENSAYO DIGESTIBILIDAD

El crecimiento de los corderos registrado desde el inicio de la ingestión de los piensos a evaluar hasta la subida a jaulas estuvo dentro del rango esperado para los corderos de esta raza en todos los tratamientos. Sin embargo, durante su estancia en las jaulas metabólicas, los animales presentaron una ingestión y un crecimiento (datos no presentados) por debajo de los esperados (Ripoll *et al.*, 2011; Lobón *et al.*, 2017; MAPAMA, 2018b), debido a la situación de estrés a que estuvieron sometidos y el escaso tiempo para adaptarse a ella. En cuanto a la ausencia de efecto de la reducción en dos puntos porcentuales del contenido en PB de la dieta en la ingestión de concentrado y la digestibilidad aparente, permite interpretar que las necesidades estaban cubiertas con la dieta baja en proteína. En contra de lo observado en el presente estudio, Yurtman *et al.* (2002), estudiando tres niveles de PB (16,6%, 17,8% y 21,5% PB), observaron una menor ingestión cuando se ofrecían los dos piensos con mayor contenido en PB. Con el fin de cubrir necesidades en proteína, los animales aumentan la ingestión de pienso cuando el contenido proteico es insuficiente. Por lo tanto, es posible que, del mismo modo que en el trabajo de Yurtman *et al.* (2002), en el presente estudio no hubiera un déficit proteico en ninguno de los casos. Además de influir la concentración proteica, la ingestión está también determinada por numerosos factores como son raza, sexo, edad y calidad del alimento (Cui *et al.*, 2018).

En general, cuando se incrementa el nivel de PB de la dieta se espera un incremento de la digestibilidad de los nutrientes. Fluharty y McClure (1997) y Kaya *et al.* (2009) obtuvieron un incremento de la digestibilidad de la MS cuando se aumentaba la concentración proteica entre 14,5% y 18,9% PB y 10, 13 y 16% PB, respectivamente, en corderos de cebo. En un estudio de terneros en cebo, Costa *et al.* (2017) también observaron una mayor digestibilidad de la MS cuando la dieta presentaba un mayor

contenido en PB. La falta de efecto del nivel de proteína sobre la digestibilidad aparente de los nutrientes observado en el presente estudio, está de acuerdo con Gao *et al.* (2016), quienes trabajaron con niveles de un 11% y 13% PB; pudiendo ser debido a la escasa variación entre los niveles de proteína estudiados, dos unidades porcentuales. En el presente trabajo, el nivel de PB únicamente afectó a la digestibilidad de la FAD, la cual mostró una tendencia a disminuir cuando se reducía el contenido en la fase de crecimiento, estando de acuerdo con Kiran y Mutsvangawa (2009) y Kawashima *et al.* (2000). En este estudio, la reducción del contenido en proteína no conllevó a una disminución de la digestibilidad aparente del N, estando en desacuerdo con los resultados observados por diversos estudios (Preston *et al.*, 1965; Santos *et al.*, 2015; Muruz *et al.*, 2017). En este caso, la falta de resultados del presente estudio puede deberse al mayor nivel proteico de ambos tratamientos; no obstante, la concentración proteica en el caso de los otros trabajos oscila entre el 6,2 y el 13% PB y podría ser insuficiente. La variabilidad de los resultados también está ligada a numerosas causas relacionadas con el animal: raza (Zhou *et al.*, 2017; Zhou *et al.*, 2019), edad (Sañudo *et al.*, 1998) y con el tipo de dieta: proporción forraje:concentrado (Craddock *et al.*, 1974), relación energía:proteína (Craddock *et al.*, 1974; Yurtman *et al.*, 2002; Ríos-Rincón *et al.*, 2014), así como los ingredientes de la dieta (Casper y Schingoethe, 1989).

Al margen de esto, muchos autores coinciden en que la gran variabilidad también puede estar relacionada con el contenido energético de las dietas evaluadas, siendo la energía (Sultan *et al.*, 2009) y el plano de alimentación (Andrews y Ørskov, 1970a) los factores más determinantes en el caso de la digestibilidad. Por lo tanto, resulta difícil evaluar la digestibilidad de los nutrientes en dietas que no sean isoenergéticas.

En cuanto al balance nitrogenado, en el presente estudio la determinación de N en orina pudo estar subvalorado debido a errores en la determinación del N urinario. Dichos errores están relacionados con el proceso de almacenado y toma de muestra para la determinación del análisis, ya que, durante el tiempo de refrigeración y de congelación, en la orina se producen una serie de precipitaciones de partículas que pueden arrastrar compuestos nitrogenados, conllevando una menor determinación de N. Por ello, los resultados del balance nitrogenado deben ser tomados con cautela, y suponiendo que la precipitación ha sido similar en todas las dietas estudiadas.

El nitrógeno retenido tampoco estuvo influido por el nivel de proteína de la dieta, estando ello de acuerdo con lo observado por Ma *et al.* (2017) en corderos jóvenes. En cambio, Kiran y Mutsvangawa (2009) y Kawashima *et al.* (2000) sí observaron una relación directamente proporcional entre la retención de N y la cantidad de PB en animales de mayor edad y con un mayor potencial productivo. Fondevila *et al.* (1994) obtuvieron un mayor N retenido al pasar de una dieta de 11,5% PB a 13,6% PB en corderos Fleischaff (18 kg PV), pero no vieron ningún efecto al incrementar la proteína en mayores cantidades (15,6 y 17,2% PB). Galles *et al.* (2011) observaron que los animales alimentados con el pienso bajo en proteína en la fase de acabado (17 % PB)

presentaron una emisión ambiental de amoníaco en orina menor respecto a aquellos alimentados con un 19% PB. El aumento del catabolismo proteico derivado de una cantidad de PB por encima de la necesaria conlleva un aumento de la producción de metano (Nichols *et al.*, 2019), una menor retención de energía (Reed *et al.*, 2017) y un mayor coste de la ración, lo cual hace que los animales resulten menos eficientes (Theodoridis *et al.*, 2012). Esto mismo demostraron Zhou *et al.* (2019) al observar un incremento del N retenido y una reducción del N urinario conforme aumentaba la concentración energética de la dieta en ovinos que recibían una dieta baja en proteína (7%).

Los catabolitos analizados al inicio y fin de cada periodo *in vivo* mostraron que los animales presentaban unos parámetros de acuerdo con la normalidad fijada para ovinos en crecimiento (Kaneko *et al.*, 2008). En el caso del BHB, se registró una tendencia a un mayor contenido en la dieta *Control* durante el periodo de acabado del cebo, aunque siempre los valores estuvieron siempre dentro de la normalidad para la especie ovina ( $0,27 \pm 0,04$ ). Este metabolito es una fuente de energía alternativa cuando el balance energético del organismo es desfavorable (Kaneko *et al.*, 2008). Los niveles del BHB eran algo inferiores a los observados en corderos ligeros de la misma raza (Álvarez-Rodríguez *et al.*, 2012), lo que puede ser debido a que en el presente estudio los corderos eran más jóvenes y el rumen aún no estaba bien desarrollado por lo que el uso de la oxidación del butirato y la cetogénesis es mínimo (Álvarez-Rodríguez *et al.*, 2012; Baldwin y Jesse, 1992). No obstante, para poder confirmar esta teoría se deben planificar otros estudios más complejos que permitan valorar el estado metabólico del animal. Este desequilibrio en el balance energético, no repercutió negativamente en el balance nitrogenado, de acuerdo con lo observado por Chowdhury *et al.* (1995) en corderos de cebo de pesos elevados.

Al contrario de lo obtenido en numerosos estudios (Gleghorn *et al.*, 2004; Rocha *et al.*, 2004 y Vosooghi-Poostindoz *et al.*; 2014), el incremento de PB en la dieta no se vio reflejado en un aumento de la concentración de urea en la sangre en ninguna de las fases estudiadas. Este resultado puede deberse a la compensación de los valores sanguíneos por medio del incremento de la excreción de N en orina observado en el presente estudio en el grupo *Control*. En el caso de Hatfield *et al.* (1998), quienes obtuvieron una disminución del valor de urea en sangre y un incremento de la creatinina sérica al disminuir de un 18% a un 10% PB en el pienso de corderos de 50 kg, las diferencias pueden deberse a la gran diferencia en el contenido proteico entre dietas, siendo mucho mayor que en el presente estudio. La diferencia de resultados entre estudios puede estar relacionado con la amplitud de la variación del contenido en proteína, siendo de 8 puntos porcentuales en el estudio mencionado y de solo dos puntos en el presente.

El incremento de N excretado en orina en el grupo *Control* en la fase de acabado no se vio acompañado por un aumento del N ureico en sangre, que es utilizado como

predictor de la excreción. Por otra parte, los valores de rendimiento cárnico superiores obtenido en el pienso *Control*, también deberían reflejarse en valores superiores de creatinina que demostrarían diferencias en la síntesis y degradación proteica.

### 3. PARÁMETROS PRODUCTIVOS, CALIDAD DE LA CANAL Y DE LA CARNE

#### 3.1 Parámetros productivos

La tendencia a una mayor ingestión en los animales que recibían el concentrado *Bajo* puede ser resultado de la estrategia que tienen los animales para cubrir las necesidades de producción (Van Soest, 2018). Dado que en el presente estudio las dietas eran muy similares y únicamente variaban en el contenido en PB. Purroy *et al.* (1993), en corderos Rasa Aragonesa de 16 kg PV, observaron mayores ingestiones al incrementar el porcentaje de PB de la dieta de 12% PB a 15% o 18%, pero no obtuvieron efecto cuando se incrementaba de 15 a 18% PB. Posiblemente esto se deba a que los animales presentan una mayor ingestión cuando la dieta es pobre en proteína bruta con la finalidad de cubrir sus necesidades, sin embargo, un 15% PB se considera un porcentaje de proteína adecuado con respecto las necesidades de los animales (FEDNA, 2008; INRA, 2018). También Dutta *et al.* (2009) observaron un incremento de la ingestión de MS de un pienso con un 12% PB respecto a otro con un 14% PB durante el periodo de cebo de cabritillos. En cambio, Vosooghi-Poostindoz *et al.* (2014) sí obtuvieron una mayor ingestión de MS de un pienso con un 18% comparado con otro 16% PB. Santos *et al.* (2015) también obtuvieron una ingestión de MS mayor en animales alimentados con un 14% de MS respecto a aquellos alimentados con un 10%. Por el contrario, Rocha *et al.* (2004) no observaron diferencias de ingestión de MS entre dietas isoenergéticas de 14%, 16%, 18% y 20% de PB.

Las GMD de todo el periodo de cebo fueron similares entre tratamientos, en concordancia con los resultados observados por Craddock *et al.* (1974), Muwalla *et al.* (1998) y Kiran y Mutsvangwa (2009). El IC no varió entre tratamientos, contradiciendo lo afirmado por Purroy *et al.* (1993), en cuyo estudio los corderos de raza Rasa Aragonesa alimentados con una menor concentración de PB tuvieron un IC peor (12% vs. 15% y 18% de PB). En cambio, Manso *et al.* (1998), obtuvieron una mejor utilización de la dieta por parte de los corderos merinos con un 16% PB que en los alimentados con un 22% de PB. Tampoco se observaron resultados en cuanto al peso final de los animales, contradiciendo los resultados de Vosooghi-Poostindoz *et al.* (2014), obtenidos con la misma diferencia en el porcentaje de PB entre tratamientos. Sin embargo, estas diferencias entre estudios con dietas similares pueden deberse a la corta duración del cebo de los corderos tipo ligeros usados en el presente estudio (sacrificados aproximadamente con 25 kg PV), en contraposición a los 49 kg de peso final del estudio anterior. Como se ha comentado anteriormente, los animales ingieren mayor cantidad del pienso *Bajo* ante la necesidad de cubrir sus necesidades, por lo que este incremento no se traduce en un aumento de la producción.

La gran variabilidad en los resultados de los diferentes estudios sugiere que la concentración energética es más limitante que la variación de la PB (Beauchemin *et al.*, 1995; Ríos-Rincón *et al.*, 2014). Además, en el presente estudio, los niveles de energía se mantuvieron muy similares entre ambos los tratamientos y las diferencias en el nivel de proteína fueron únicamente de 2 puntos porcentuales, lo que pudo no ser suficiente para provocar diferencias en parámetros productivos del animal.

### **3.2 Calidad de la canal**

En la presente memoria de tesis se evaluaron las siguientes características de la canal: peso, rendimiento y conformación de la canal y color del músculo *Rectus abdominis*. Por lo tanto, no se estudió el color de la grasa, ya que éste se ve afectado principalmente por la alimentación con forrajes frente al pienso (Prache y Theriez, 1999; Ripoll *et al.*, 2008; Dunne *et al.*, 2009 y Joy *et al.*, 2012).

#### **3.2.1 Parámetros productivos de la canal**

La reducción del peso y del rendimiento canal al disminuir la PB, coincide con los resultados de Santos *et al.* (2015) con 10% y 14% PB y Estrada-Angulo *et al.* (2018) con niveles de 11, 14, 17 y 20% PB. Este empeoramiento de los parámetros productivos relacionados con la canal puede deberse a que el aumento proteico produce una mejora en el balance de energía de los animales, que viene dado por una mayor producción de ácidos grasos y una mayor proporción de propionato dentro de éstos. Esta energía es empleada por los animales en crecimiento para depositar músculo y obtener mayores pesos, los cuales se reflejan en una mejora de la calidad de la canal (Kabir *et al.*, 2002). El peor rendimiento del canal observado en el tratamiento *Bajo*, podría ser debido a un mayor depósito de grasa interna (pérvico-renal, omental y mesentérica) frente a los corderos del tratamiento *Control*. Otra posibilidad es el aumento del peso de órganos internos, aunque este hecho se ha asociado al incremento en el porcentaje de PB de la dieta (Seoni *et al.*, 2018). Sin embargo, en el faenado del matadero, debido a su alto volumen de trabajo, no se tomaron datos de las pesadas de órganos y grasa, por lo que no se puede corroborar ninguna suposición. No obstante, Ruiz-Nuño *et al.* (2009) observaron mayor cantidad de grasa renal en los corderos alimentados con un 16% de PB respecto a los del 18%, siendo la diferencia en la concentración de proteína de los piensos la misma que en el presente estudio. Purroy *et al.* (1993), en el estudio basado también en animales de raza autóctona y sacrificados con el mismo peso, también obtuvo un menor engrasamiento en los corderos con un 18% de PB respecto a los de 15% y 12%, disminuyendo la cantidad de grasa en la zona omental y mesentérica.

Respecto al engrasamiento de la canal no se observó ningún efecto de nivel de proteína, en concordancia con los resultados observados por Rocha *et al.* (2004). Además, cabe recordar que nos encontramos ante una categoría de cordero que se somete a un periodo de cebo muy corto y se lleva a matadero con una corta edad y un bajo peso vivo, por lo que la variación en el engrasamiento es muy baja.

### **3.2.1 Color de la canal**

Pese a haber pocos estudios que relacionen la concentración proteica de la ración y color del músculo, se decidió analizar el color de la canal, medido en el músculo *Rectus abdominis*, como paso previo al estudio de la calidad de la canal y de la carne.

La tendencia a un menor índice de amarillo ( $b^*$ ) en el tratamiento Bajo contradice lo observado por Alonso *et al.* (2010), quienes concluyeron que la disminución proteica en la dieta de porcino conllevaba a un aumento de los índices  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  y, con ellos, de la intensidad de la carne. En la misma línea, Goerl *et al.* (1995) también obtuvieron menores valores de  $b^*$  al incrementar la proteína bruta. La variación del índice de amarillo suele estar estrechamente relacionado con un incremento de la cantidad y colo de la grasa de cobertura (Suárez-Belloch *et al.* 2016), así como por la presencia de pigmentos en la grasa (Blanco *et al.*, 2015; Lobón *et al.*, 2017), aspectos poco relevantes en el presente estudio. La ausencia de efecto del tratamiento en los parámetros determinantes del color indica que la disminución de la proteína dietaria en las condiciones estudiadas no provoca características indeseadas en la canal.

## **3.3 Calidad de la carne del LTL**

### **3.3.1 pH, color y compuestos hemínicos de la carne**

Los valores de pH encontrados fueron acordes a otros reportados en corderos ligeros de raza Rasa Aragonesa sacrificados con similares pesos vivos (Ripoll *et al.*, 2012) y en otras razas autóctonas españolas (Díaz *et al.*, 2002; Carrasco *et al.*, 2009). Estos valores descartan problemas fisiológicos o de estrés en los animales (Carrasco *et al.*, 2009).

La edad, la raza, el tipo de dieta, la ingestión de forraje, las condiciones de sacrificio y la composición química del músculo pueden afectar los parámetros del color (Sañudo *et al.*, 1996).

El nivel de PB de la dieta no tuvo efecto en ningún parámetro del color de la carne, estando todos los valores dentro de la normalidad en corderos criados en condiciones similares (Ripoll *et al.*, 2011; Ripoll *et al.*, 2013 y Lobón *et al.*, 2017). El efecto del tiempo de maduración también estuvo de acuerdo con la mayoría de referencias bibliográficas (Ripoll *et al.* 2013; Lobón *et al.* 2017; Oliver *et al.*, 2017 y Ripoll *et al.*, 2017).

El índice de amarillo ( $b^*$ ) está muy ligado a la cantidad de grasa intramuscular (Cisneros *et al.*, 1999; Teye *et al.*, 2006 y Suárez-Belloch *et al.*, 2016), lo que justifica la falta de variación de dicho índice en este estudio, dado que el nivel de proteína no afectó al contenido de grasa intramuscular. Tampoco se registró efecto del tratamiento en el índice de rojo ( $a^*$ ), lo cual está de acuerdo con los resultados encontrados por (Cañeque *et al.*, 2003) cuando comparaban un concentrado proteico comercial con un 17,2% de PB, frente a cebada, con 12,6% PB. Por el contrario, Seoni *et al.* (2018) sí observaron un cambio en el valor de  $a^*$  entre piensos con diferencias en la concentración similares a

las anteriores (15% vs. 20,2% PB). En este caso, la carne de los animales asignados a un mayor nivel proteico resultó en un menor índice de rojo. En cambio, Youssef y Barbut (2009) observaron un aumento en el índice de rojo y un descenso en la luminosidad en la carne cuando las dietas de los animales incrementaban la concentración proteica de un 10 a un 13%.

Se desconoce la causa exacta del menor tono ( $H^\circ$ ) observado en el tratamiento *Bajo* en el día 0. Los principales factores *antemortem* y *postmortem* que afectan al color (edad, peso al sacrificio, tipo de alimento, pH, tiempo de exposición al oxígeno, cantidad y calidad de la grasa intramuscular) (Sañudo *et al.*, 1996) no difieren entre los animales pertenecientes a los tratamientos a estudiar. Igualmente, ambos lotes tienen la misma oxidación lipídica. Además, las diferencias en el peso de la canal se han relacionado con cambios en el valor de  $H^\circ$ , pero del modo contrario al ocurrido en el presente estudio. Okeudo y Moss (2005) obtuvieron un descenso del tono en las canales de ovinos sacrificados a pesos elevados. Por lo tanto, estos efectos han de ser descartados como explicación de las diferencias entre los lotes estudiados. Una posible explicación es que estas diferencias sean debidas a cambios en la estructura del músculo debido a la diferencia de velocidad de crecimiento del tejido muscular, detectado en el mayor rendimiento de la canal de los animales alimentados con mayor concentración proteica. Distintas velocidades de crecimiento también generan cambios en el proteoma sarcomplasmático, que juegan un papel crítico en el color de la carne debido a su interacción con la mioglobina (Hollung *et al.*, 2007 y Nair *et al.*, 2017).

La metamioglobina (MMb) fue mayor en el tratamiento *Bajo* en los días 3 y 6, no mostrando así la relación entre el aumento de proteína dietaria y el incremento de MMb en la carne encontrada por Tam *et al.* (1998). A pesar del aumento de MMb, que suele dar un aspecto desfavorable a la carne (Sañudo *et al.*, 2007), los parámetros de color no sufrieron ningún cambio, por lo que no tendría consecuencias en la decisión del consumidor. Este hallazgo tampoco se puede justificar con la teoría de Tam *et al.* (1998), que afirmaron que la disminución de MMb en la carne puede venir dada por un menor valor de pH en la misma, que hace que haya una menor cantidad de Mb que se transforma posteriormente en MMb. Además de los factores ya comentados, la cantidad de MMb final de la carne depende de aspectos de conversión y transformación de los pigmentos (temperatura, humedad relativa, luz y presión de  $O_2$ ), de las características inherentes al músculo (consumo de  $O_2$ , pH y oxidación lipídica) y factores del animal (raza, edad y espesor de la grasa dorsal) (Gao *et al.*, 2014). También influyen en gran medida las condiciones previas al sacrificio (Renerre *et al.*, 1992), las cuales alteran el patrón normal de descenso del pH, que provoca cambios ya comentados en el color. Del mismo modo que sucede con el color, los cambios en la cantidad de MMb no se pueden achacar a ninguno de estos parámetros, puesto que no difirieron entre los distintos tratamientos. Son pocos los estudios que relacionan el nivel proteico de la dieta y las concentraciones de pigmentos, no obstante, sería interesante ampliar conocimientos al respecto, ya que la decoloración de la carne causada por un

desequilibrio en la formación de MMb provoca grandes pérdidas anuales al sector cárnico (Nair *et al.*, 2014).

### **3.3.2 Oxidación lipídica de la carne**

El umbral de aceptabilidad en la carne oxidada varía según el animal y el estudio (Ripoll *et al.*, 2011). Los valores de oxidación lipídica en los tres momentos evaluados estuvieron dentro del rango observado en otros estudios en corderos Rasa Aragonesa y categoría Ternasco (Ripoll *et al.* 2013; Lobón *et al.* 2017 y Oliver *et al.*, 2017) y en corderos raza Ojinegra de Teruel sacrificados con 8-11 kg (Ripoll *et al.*, 2017). Los dos puntos porcentuales de PB no fue una diferencia suficiente para influir en la oxidación lipídica, probablemente porque tampoco afectó al contenido en grasa ni al perfil de AG. Los mayores valores de MMb observados en el tratamiento *Bajo* a 3 y 6 días de maduración no se vieron reflejados en los valores de MDA, los cuales fueron muy similares entre tratamientos. En relación a ello, Renerre (1990), encontró una relación entre el catabolismo proteico de la carne y la oxidación lipídica de la misma, ya que la formación de MMb cataliza la oxidación de los AG y viceversa.

### **3.3.3 Composición química y perfil de AG de la carne**

Los contenidos de grasa y proteína bruta del músculo fueron similares en ambos tratamientos y los valores se encontraron dentro de los esperados para corderos Rasa Aragonesa de 22-24 kg PV (Dervishi *et al.*, 2011 y Lobón *et al.*, 2017). Atti *et al.* (2004) obtuvieron que los cabritillos que recibieron el pienso con mayor concentración de PB (16% vs. 10% y 13% PB) tuvieron una mayor cantidad de grasa total. También Cheng *et al.* (2017) observaron en cerdos alimentados con menor concentrado proteico (15% PB en crecimiento y 13,6% PB en acabado) tuvieron una cantidad de grasa intramuscular menor respecto a los alimentados con una cantidad de PB adecuada (17% y 15,6% de PB en crecimiento y acabado, respectivamente). No obstante, la mayoría de estudios, también basados en cerdos, indican lo contrario: porcentajes de proteína menores conllevan un incremento en la cantidad de grasa intramuscular (Cisneros *et al.*, 1996; Teye *et al.*, 2006; Kamalakar *et al.*, 2009; Alonso *et al.*, 2010 y Suárez-Belloch *et al.*, 2016). Contrariamente a lo anteriormente dicho, en este estudio la variación en la PB no provocó ningún cambio en la cantidad de grasa intramuscular. Posiblemente, esto se deba a que, según Sañudo *et al.* (1998), el factor que más afecta a la composición de la carne sea el nivel de crecimiento durante el periodo de acabado. La ausencia de diferencias entre grupos en cuanto a la cantidad de grasa y proteína del músculo refleja que, los animales del tratamiento *Bajo*, tuvieron una tasa de crecimiento y de depósito de grasa similar al tratamiento *Control*.

La alimentación empleada durante el estudio, fue la típica de un sistema de producción intensivo donde el cebo se realiza a base de concentrado, el cual es rico en linoleico (C18:2 n-6), oleico (C18:1 n-9) y ácidos grasos saturados tales como el palmítico (C16:0) y el esteárico (C18:0) (Lobón *et al.*, 2017). Los piensos utilizados en el presente

estudio no presentaron diferencias significativas en el perfil de AG, por lo que los resultados obtenidos en el perfil de AG de la carne, pueden achacarse al efecto proteico de la dieta. La cantidad total de los mismos no se vio afectada por el nivel de proteína del pienso, al contrario que en Cheng *et al.* (2017), donde la diminución proteica produjo un aumento de los AG totales. El C18:1 n-9 (ácido oleico) fue el ácido graso mayoritario de acuerdo con otros estudios (Dervishi *et al.*, 2010; Facciolongo *et al.*, 2015; Lestingi *et al.*, 2016) y su valor fue similar al obtenido por Lobón *et al.* (2017) en corderos Rasa Aragonesa de categoría “Ternasco”. Lo mismo ocurrió con los porcentajes de C18:2 n-6 (ácido linoleico) y C18:0 (ácido esteárico), segundo y tercero en cuanto a su presencia en la carne. Sin embargo, el porcentaje de C16:0 (ácido palmítico) en ambos tratamientos fue inferior a los observados en los estudios llevados a cabo por Lobón *et al.* (2017) y Oliver *et al.* (2017) con animales sacrificados con pesos vivos similares, estabulados y alimentados también pienso, aunque de raza Rasa Aragonesa. Esto puede deberse al menor porcentaje de este ácido graso en los concentrados estudiados en el presente estudio, con un promedio de 19,3%, mientras que los concentrados utilizados en los otros estudios los contenidos eran de 31,2 y 34%, respectivamente. Además, los valores de la composición de los ácidos grasos del músculo fueron similares a los obtenidos en corderos de diferentes razas españolas criados en condiciones similares a los del presente estudio (Sañudo *et al.*, 2000). El incremento de C18:2 n-6 en el tratamiento *Bajo* contradice a los resultados obtenidos por Alonso *et al.* (2010) y Cheng *et al.* (2017), quienes en cerdos no obtuvieron diferencias cuando comparaban dos niveles de proteína durante el crecimiento y acabado en el cebo de cerdos. Sin embargo, la digestión de las grasas en el rumiante difiere mucho de la de los animales no rumiantes, lo que puede ser la principal causa de dicha contradicción.

La disminución del contenido en proteína del pienso incrementó el porcentaje de algunos AG que no se consideran beneficiosos para la salud (n-6 o ácidos saturados), por estar relacionados recientemente con enfermedades cardiovasculares. No obstante, es necesario recalcar que las diferencias en la composición de ácidos grasos (AG) se dan únicamente en AG minoritarios en la carne (menores al 0,1% respecto al total). En cambio, estas diferencias en AG entre tratamientos proteicos no comportaron una disminución significativa del sumatorio de n-3 ni un incremento de la ration-6/n-3, como en el caso de Seoni *et al.* (2018). Además, es importante destacar que en ambos tratamientos la carne presenta una ratio de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) n-6/n-3 mucho mayor al recomendado para la salud humana, que sitúan el óptimo en 5. Además, la proporción entre AGPI y los ácidos grasos saturados (AGS) es muy baja en comparación con los valores nutricionales deseados.

La ausencia de diferencias entre tratamientos en los demás AG puede deberse a que el tiempo de cebo del presente estudio no fuera suficiente, ya que fue únicamente de 42 días. Con respecto a esto último, parece haber un consenso a la hora de afirmar que es la fuente de AG de la dieta la que modifica el contenido de los mismos en la carne (Ponnampalam *et al.*, 2002; Ponnampalam *et al.*, 2004) y, como en el caso de Arsenos

*et al.* (2007) y Kemp *et al.* (1980), no se registra ninguna modificación del perfil de AG a través de la concentración proteica de la dieta.

Existen pocos estudios que relacionen la cantidad y tipo de proteína dietaria con la composición en AG de la carne. La forma más fácil de alterar dicha composición es variando los AG ingeridos (Wood *et al.*, 2003) por lo que, para poder estudiar los efectos de las fuentes en distintas dietas, éstas se formulan para ser isoproteicas e isoenergéticas.

## CONCLUSIONES

Las conclusiones generales de este trabajo son las siguientes:

1. La reducción de la proteína bruta (PB) (18 vs. 20%) en el pienso de los corderos únicamente disminuyó la digestibilidad aparente de la fibra ácido detergente y no afectó ni al balance nitrogenado ni a los metabolitos sanguíneos en la fase de crecimiento del cebo de corderos.
2. La disminución del contenido de PB (17 vs. 19%) en el pienso no afectó a la digestibilidad de ningún nutriente, pero redujo el nitrógeno excretado en orina y del nitrógeno excretado total y la concentración  $\beta$ -hidroxibutirato plasmático en la fase de acabado.
3. La reducción en el contenido de PB del pienso tendió a aumentar el consumo diario de pienso, pero no afectó a los otros parámetros productivos (ganancia de peso, peso inicial y final e índice de conversión).
4. La reducción de PB del pienso en el cebo redujo el peso canal y el rendimiento canal, pero no afectó al engrasamiento y color del *Rectus abdominis*.
5. El contenido en PB del pienso durante el cebo no afectó al pH y color, pero la reducción del contenido en PB incrementó el contenido de metamioglobina (MMb). La reducción de la PB del pienso tampoco afectó a la oxidación lipídica, contenido de grasa y proteína de la carne, ni al perfil de ácidos grasos de la grasa intramuscular. Únicamente se observaron diferencias en ciertos ácidos grasos minoritarios (menos de 0,1% respecto al total de ácidos grasos).
6. En base a estos resultados se puede recomendar una reducción del contenido en PB del pienso durante el cebo de corderos ligeros de pequeño formato. Sin embargo, se debe valorar si la reducción de coste del pienso compensa económicamente el incremento del coste de la dieta por la mayor ingestión de pienso y la posible reducción de ingresos debido al menor rendimiento canal.



## BIBLIOGRAFÍA

- AFRC. 1993. Energy and protein requirements of ruminants. CAB International, Wallingford, UK.
- Akhtar, M., Nisa, M. U., Hayat, Z., y Sarwar, M. 2017. Effect of varying dietary rumen undegraded protein on nutrient intake, nutrient digestibility and production performance in early lactating crossbred cows. *Pak. J. Agr. Sci.*, 54(4).
- Alonso, V., Campo, M. M., Provincial, L., Roncalés, P., y Beltrán, J. A. 2010. Effect of protein level in commercial diets on pork meat quality. *Meat Sci.*, 85(1), 7-14.
- Álvarez-Rodríguez, L., López-Hoyos, M., Muñoz-Cacho, P. y Martínez-Taboada, V. M. 2012. Aging is associated with circulating cytokine dysregulation. *Cell. Immunol.*, 273(2), 124-132.
- Álvarez, J., Joy, M., Molina, E., Blanco Alibés, M., Lobon, S. y Villalba Mata, D. 2018. Nivel de proteína en piensos de cebo de corderos. *Albéitar*, 2018, núm. 220, p. 26-27.
- Alves, S. P. y Bessa, R. J. 2009. Comparison of two gas–liquid chromatograph columns for the analysis of fatty acids in ruminant meat. *J. Chromatogr. A.*, 1216(26), 5130-5139.
- AMSA. 2012. Guidelines for meat color evaluation. p 124. American Meat Science Association, Champaign, Illinois, USA.
- Andrews, R. P. y Ørskov, E. R. 1970a. The nutrition of the early weaned lamb: I. The influence of protein concentration and feeding level on rate of gain in body weight. *J. Agric. Sci.*, 75(1), 11-18.
- Andrews, R. P. y Ørskov, E. R. 1970b. The nutrition of the early weaned lamb: II. The effect of dietary protein concentration, feeding level and sex on body composition at two live weights. *J. Agric. Sci.*, 75(1), 19-26.
- AOAC. 1999. Official Methods of Analysis of AOAC International 16th ed. Gaithersburg: Ed. AOAC International.
- AOCS. 2005. Approved procedure Am 5-04, Rapid determination of oil/fat utilizing high temperature solvent extraction. AOCS Press, Urbana, EEUU.
- Arelovich, H. M., Amela, M. I., Martínez, M. F., Bravo, R. D. y Torrea, M. B. 2014. Influence of different sources of zinc and protein supplementation on digestion and rumen fermentation parameters in sheep consuming low-quality hay. *Small Rumin. Res.*, 121(2-3), 175-182.
- Arsenos, G., Fortomaris, P., Papadopoulos, E., Kufidis, D., Stamataris, C. y Zygogiannis, D. 2007. Meat quality of lambs of indigenous dairy Greek breeds as influenced by dietary protein and gastrointestinal nematode challenge. *Meat Sci.*, 76(4), 779-786.
- Asmare, A., Puchala, R., Tesfai, K., Detweiler, G. D., Dawson, L. J., Askar, A. R. y Goetsch, A. L. 2011. Effects of small ruminant type and restricted protein intake on metabolism. *Small Rumin. Res.*, 98(1-3), 111-114.

- Atti, N., Rouissi, H. y Mahouachi, M. 2004. The effect of dietary crude protein level on growth, carcass and meat composition of male goat kids in Tunisia. *Small Rumin. Res.*, 54(1-2), 89-97.
- Baldwin, R. y Jesse, B. W. 1992. Developmental changes in glucose and butyrate metabolism by isolated sheep ruminal cells. *J. Nutri.*, 122(5), 1149-1153.
- Beauchemin, K. A., McClelland, L. A., Kozub, G. C. y Jones, S. D. M. 1995. Effects of crude protein content, protein degradability and energy concentration of the diet on growth and carcass characteristics of market lambs fed high concentrate diets. *Can J. Anim. Sci.*, 75(3), 387-395.
- Bello, J. M., Mantecón, A. R., Rodriguez, M., Cuestas, R., Beltran, J. A. y Gonzalez, J. M. 2016. Fattening lamb nutrition. Approaches and strategies in feedlot. *Small Rumin. Res.*, 142, 78-82.
- Bernués, A., Ripoll, G. y Panea, B. 2012. Consumer segmentation based on convenience orientation and attitudes towards quality attributes of lamb meat. *Food Qual. Prefer.*, 26(2), 211-220.
- Bertolín, J. R., Joy, M. y Blanco, M. 2019. Malondialdehyde determination in raw and processed meat products by UPLC-DAD and UPLC-FLD. *Food Chem.*, 125009.
- Blanco, M., Joy, M., Bernués, A., Casasús, I. y Villalba, D. 2015. Interés de la introducción del guisante en las dietas de cebo de rumiantes. *MG Mundo ganadero*, 26(266), 58-62.
- Blankson, H., Stakkestad, J.A., Fagertun, H., Thom, E., Wadstein, J. y Gudmundsen, O. 2000. Conjugated linoleic acid reduces body fat mass in overweight and obese humans. *J. Nutr.* 130:2943-2948.
- Borton, R. J., Loerch, S. C., McClure, K. E. y Wulf, D. M. 2005. Comparison of characteristics of lambs fed concentrate or grazed on ryegrass to traditional or heavy slaughter weights. I. Production, carcass, and organoleptic characteristics. *J. Anim. Sci.*, 83(3), 679-685.
- Bravo-Lamas, L., Barron, L. J., Kramer, J. K., Etaio, I. y Aldai, N. 2016. Characterization of the fatty acid composition of lamb commercially available in northern Spain: Emphasis on the trans-18: 1 and CLA content and profile. *Meat Sci.*, 117, 108-116.
- Cañeque, V., Velasco, S., De Huidobro, F. R., Pérez, C. y Lauzurica, S. 2003. Use of whole barley with a protein supplement to fatten lambs under different management systems and its effect on meat and carcass quality. *Animal Res.*, 52(3), 271-285.
- Carrasco, S., Panea, B., Ripoll, G., Sanz, A. y Joy, M. 2009. Influence of feeding systems on cortisol levels, fat colour and instrumental meat quality in light lambs. *Meat Sci.*, 83:50-56.
- Carse, W.A. 1973. Meat quality and the acceleration of post-mortem glycolysis by electrical stimulation. *J. Food Technol.* 8, 163–166.
- Casper, D. P. y Schingoethe, D. J. 1989. Lactational response of dairy cows to diets varying in ruminal solubilities of carbohydrate and crude protein. *Diary Sci*, Madison, v. 72, n. 2, p. 928-941.

- Cheng, C., Liu, Z., Zhou, Y., Wei, H., Zhang, X., Xia, M. y Peng, J. 2017. Effect of oregano essential oil supplementation to a reduced-protein, amino acid-supplemented diet on meat quality, fatty acid composition, and oxidative stability of Longissimus thoracis muscle in growing-finishing pigs. *Meat Sci.*, 133, 103-109.
- Chowdhury, S. A., Hovell, F. D., Ørskov, E. R., Scaife, J. R., Mollison, G. y Bogoro, S. 1995. Protein utilisation during energy undernutrition in sheep sustained on intragastric infusion: effect of changing energy supply on protein utilisation. *Small Rumin. Res.*, 18(3), 219-226.
- CIE. 1986. Colorimetry 2nd ed. Vol. nº 15.2. Centre International de L'eclairage, Vienna.
- Cisneros, F., Ellis, M., Baker, D. H., Easter, R. A. y McKeith, F. K. 1996. The influence of short-term feeding of amino acid-deficient diets and high dietary leucine levels on the intramuscular fat content of pig muscle. *Animal Sci.*, 63(3), 517-522.
- Cole, N. A., Defoor, P. J., Galyean, M. L., Duff, G. C. y Gleghorn, J. F. 2006. Effects of phase-feeding of crude protein on performance, carcass characteristics, serum urea nitrogen concentrations, and manure nitrogen of finishing beef steers. *J. Anim. Sci.*, 84(12), 3421-3432.
- Colomer-Rocher, F. 1973. Exigencias de la calidad en la canal. *Anales de INIA, Serie: Servicio de Producción Animal* 4:117-132.
- Colomer-Rocher, F., Delfa, R. y Sierra I. 1988. Método normalizado para el estudio de los caracteres cuantitativos y cualitativos de las canales ovinas producidas en el área mediterránea según los sistemas de producción. *Cuadernos INIA* 17:19-41.
- Costa, S., Ventura, G., Balcells, J., Mora, J., Cortes-Lacruz, X., de la Fuente, G. y Villalba, D. 2017. Uso del nitrógeno de urea en sangre para evaluar el nivel de proteína de las raciones de terneros de engorde. Departamento de Ciencia Animal. Universidad de Lleida. AIDA. XVII J. Prod. Ani., 85, 324–326.
- Craddock, B. F., Field, R. A. y Riley, M. L. 1974. Effect of protein and energy levels on lamb carcass composition. *J. Anim. Sci.*, 39(2), 325-330.
- Cui, K, Wang, B, Ma, T., Si, B. W., Zhang, N. F., Tu, Y. y Diao, Q. Y. 2019. Effects of dietary protein restriction followed by realimentation on growth performance and liver transcriptome alterations of lamb. *SCIENTIFIC Reports | (2018) 8:15185*.
- Dayani, O., Dadvar, P. y Afsharmanesh, M. 2011. Effect of dietary whole cottonseed and crude protein level on blood parameters and performance of fattening lambs. *Small Rumin. Res.*, 97(1-3), 48-54.
- De la Fuente, J., Álvarez, I., Díaz, M.T., Pérez, C. y Cañeque, V. 2005. Determinación de los pigmentos de la carne por espectrofotometría, Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes, INIA, Madrid. p. 226-236.
- De Rancourt, M., Fois, N., Lavín, M. P., Tchakérian, E. y Vallerand, F. 2006. Mediterranean sheep and goats production: An uncertain future. *Small Rumin. Res.*, 62: 167-179.
- Dervishi, E., C. Serrano, Joy, M., Serrano, M., Rodellar, C. y Calvo, J. 2010. Effect of the feeding system on the fatty acid composition, expression of the Δ 9-desaturase,

- Peroxisome Proliferator-Activated Receptor Alpha, Gamma, and Sterol Regulatory Element Binding Protein 1 genes in the semitendinous muscle of light lambs of the Rasa Aragonesa breed. *BMC veterinary research* 6: 40.
- Dervishi, E., Serrano, C., Joy, M., Serrano, M., Rodellar, R. y Calvo, J. 2011. The effect of feeding system in the expression of genes related with fat metabolism in semitendinous muscle in sheep. *Meat Sci.* 89: 91-97.
- Díaz, M.T., Velasco, S., Cañeque, V., Lauzurica, S., Ruiz De Huidobro, F., Pérez, C., González, J. y Manzanares, C. 2002. Use of concentrate or pasture for fattening lambs and its effect on carcass and meat quality. *Small Rumin. Res.*, 43:257-268.
- Díaz, M.T., Sánchez, M., Martínez, C., Vieira, C. y García, M.D. 2005. Valor nutritivo de la carne. Determinación del contenido energético. In: V Cañeque, Sañudo, C., editor, *Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes*. INIA, Madrid. p. 274-281.
- Dos Santos, E. D. J., Albuquerque Pereira, M. L., Ferreira da Cruz, J., Pereira de Figueiredo, M., Presidio Almeida, P. J., Novaes, E. D. J. y de Jesus Pereira, T. C. 2015. Crude protein levels in diets containing pelleted concentrate for lactating goats: intake, digestibility, milk production and composition. *Semina: Ciências Agrárias*, 36(4).
- Dunne, P.G., Monahan, F.J., O'Mara, F.P. y Moloney A.P. 2009. Colour of bovine subcutaneous adipose tissue: A review of contributory factors, associations with carcass and meat quality and its potential utility in authentication of dietary history. *Meat Sci.*, 81.
- Dutta, T. K., Agnihotri, M. K., Sahoo, P. K., Rajkumar, V. y Das, A. K. 2009. Effect of different protein-energy ratio in pulse by-products and residue based pelleted feeds on growth, rumen fermentation, carcass and sausage quality in Barbari kids. *Small Rumin. Res.*, 85(1), 34-41.
- Ertbjerg, P. y Puolanne, E. 2017. Muscle structure, sarcomere length and influences on meat quality: A review. *Meat Sci.*, 132, 139-152.
- Estrada-Angulo, A., Castro-Pérez, B. I., Urías-Estrada, J. D., Ríos-Rincón, F. G., Arteaga-Wences, Y. J., Barreras, A. y Zinn, R. A. 2018. Influence of protein level on growth performance, dietary energetics and carcass characteristics of Pelibuey× Katahdin lambs finished with isocaloric diets. *Small Rumin. Res.*, 160, 59-64.
- Facciolongo, A. M., De Marzo, D., Ragni, M., Lestingi, A. y Toteda, F. 2015. Use of alternative protein sources for finishing lambs. 2. Effects on chemical and physical characteristics and fatty acid composition of meat. *Prog. Nutr.*, 17: 165-173.
- Faustman, C., Cassens, R. G., Schaefer, D. M., Buege, D. R., Williams, S. N. y Scheller, K. K. 1989. Improvement of pigment and lipid stability in Holstein steer beef by dietary supplementation with vitamin E. *J. Food Sci.*, 54(4), 858-862.
- FEDNA. 2008. Necesidades nutricionales para rumiantes de cebo. Normas FEDNA. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, Madrid. 54 pp.
- Fernández, M.L. y West, K.L. 2005. Mechanisms by which dietary fatty acids modulate plasma lipids. *J. Nutr.*, 135:2075-2078.

- Filho, J.G.L., Pereira, E.S., Villarroel, A.B.S., Pimentel, P.G., Medeiros, N.A., Fontenele, R.M. y Maia, I.S.G. 2011. Composição corporal e exigências líquidas proteicas de ovinos Santa Inês em crescimento. *Revista Brasileira de Zootecnia* 40, 1339–1346.
- Fluharty, F. L. y McClure, K. E. 1997. Effects of dietary energy intake and protein concentration on performance and visceral organ mass in lambs. *J. Anim. Sci.*, 75(3), 604-610.
- Fluharty, F.L., McClure, K.E., Solomon, M.B., Clevenger, D.D. y Lowe G.D. 1999. Energy source and ionophore supplementation effects on lamb growth, carcass characteristics, visceral organ mass, diet digestibility, and nitrogen metabolism. *J. Anim. Sci.* 77:816-823.
- Fondevila, M., Guada, J. A., Gasa, J. y Castrillo, C. 1994. Tomato pomace as a protein supplement for growing lambs. *Small Rumin. Res.*, 13(2), 117-126.
- Font i Furnols, M., Julián, R.S., Guerrero, L., Sañudo, C., Campo, M.M., Olleta, J.L., Oliver, M.A., Cañeque, V., Álvarez, I., Díaz, M.T., Branscheid, W., Wicke, M., Nute, G.R. y Montossi, F. 2006. Acceptability of lamb meat from different producing systems and ageing time to German, Spanish and British consumers. *Meat Sci.* 72:545-554.
- Fukumori, R., Mita, T., Sugino, T., Obitsu, T. y Taniguchi, K. 2012. Plasma concentrations and effects of glucagon-like peptide-1 (7-36) amide in calves before and after weaning. *Domest. Anim. Endocrinol.*, 43(4), 299-306.
- Galles, K., Ham, J., Westover, E., Stratton, J., Wagner, J., Engle, T. y Bryant, T. C. 2011. Influence of reduced nitrogen diets on ammonia emissions from cattle feedlot pens. *Atmocz.*, 2(4), 655-670.
- Galvani, D.B., Pires, C.C., Kozloski, G.V. y Sanchez, L.M.B. 2009. Protein requirements of Texel crossbred lambs. *Small Rumin. Res.*, 81, 55–62.
- Gao, X., Wang, Z., Miao, J., Xie, L., Dai, Y., Li, X. y Dai, R. 2014. Influence of different production strategies on the stability of color, oxygen consumption and metmyoglobin reducing activity of meat from Ningxia Tan sheep. *Meat Sci.*, 96(2), 769-774.
- Gao, W., Zhang, B., Lv, B., Liu, C. y Chen, D. 2016. Ruminal degradability and intestinal digestibility of individual amino acids in mixed diets with different crude protein levels measured by the modified in vitro three-step and mobile nylon bag technique. *J. Anim. Sci.*, 87(4), 547-556.
- Gleghorn, J. F., Elam, N. A., Galyean, M. L., Duff, G. C., Cole, N. A. y Rivera, J. D. 2004. Effects of crude protein concentration and degradability on performance, carcass characteristics, and serum urea nitrogen concentrations in finishing beef steers. *J. Anim. Sci.*, 82(9), 2705-2717.
- Goerl, K. F., Eilert, S. J., Mandigo, R. W., Chen, H. Y. y Miller, P. S. 1995. Pork characteristics as affected by two populations of swine and six crude protein levels. *J. Anim. Sci.*, 73(12), 3621-3626.

- González, J. M., Bello, J. M., Rodríguez, M., Navarro, T., Lacasta, D., Fernández, A. y De las Heras, M. 2016. Lamb feedlot production in Spain: Most relevant health issues. *Small Rumin. Res.*, 142, 83-87.
- Gray, J.I., Gomaa, E.A. y Buckley D.J. 1996. Oxidative quality and shelf life of meats. *Meat Sci.*, 43:111-123.
- Gunn, P.J., Weaver, A.D., Lemenager, R.P., Gerrard, D.E., Claeys, M.C. y Lake, S.L., 2009. Effects of dietary fat and crude protein on feedlot performance, carcass characteristics, and meat quality in finishing steers fed differing levels of dried distillers grains with solubles. *J. Anim. Sci.* 87, 2882–2890.
- Haddad, S. G., Nasr, R. E. y Muwalla, M. M. 2001. Optimum dietary crude protein level for finishing Awassi lambs. *Small Rumin. Res.*, 39(1), 41-46.
- Haddad, S. G., Mahmoud, K. Z. y Talfaha, H. A. 2005. Effect of varying levels of dietary undegradable protein on nutrient intake, digestibility and growth performance of Awassi lambs fed on high wheat straw diets. *Small Rumin. Res.*, 58(3), 231-236.
- Haddad, S. G. y Ata, M. A. 2009. Growth performance of lambs fed on diets varying in concentrate and wheat straw. *Small Rumin. Res.*, 81(2-3), 96-99.
- Hajji, H., Smeti, S., Ben Hamouda, M., Atti, N. 2016. Effect of protein level on growth performance, non-carcass components and carcass characteristics of young sheep from three breeds. *Anim. Prod. Sci.* 56: 2115-2121.
- Hammond, J. 1961. Growth in size and body proportions in farm animals. *Growth in Living Systems*. Basic Books, NY.
- Harfoot, C.G. 1978. Lipid metabolism in the rumen. *Prog. Chem. Fats Other Lipids* · 17:21-54.
- Hatfield, P. G., Hopkins, J. A., Ramsey, W. S. y Gilmore, A. 1998. Effects of level of protein and type of molasses on digesta kinetics and blood metabolites in sheep. *Small Rumin. Res.*, 28(2), 161-170.
- He, Z. X., Sun, Z. H., Beauchemin, K. A., Yang, W. Z., Tang, S. X., Zhou, C. S. y Tan, Z. L. 2015. Effect of protein or energy restriction during late gestation on hormonal and metabolic status in pregnant goats and postnatal male offspring. *Animal*, 9 (11), 1843-1851.
- Hollung, K., Veiseth, E., Jia, X., Færgestad, E. M. y Hildrum, K. I. 2007. Application of proteomics to understand the molecular mechanisms behind meat quality. *Meat Sci.*, 77(1), 97-104.
- Hopkins, D.L. 1996. Assessment of lamb meat colour. *Meat Focus International* 5:400-401.
- Houseknecht, K.L., Heuvel, J.P.V., Moya-Camarena, S.Y., Portocarrero, C.P., Peck, L.W., Nickel K.P. y Belury M.A. 1998. Dietary conjugated linoleic acid normalizes impaired glucose tolerance in the Zucker diabetic fatty fa/fa rat. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 244:678-682.
- Hristov, A. N., Domitrovich, C., Wachter, A., Cassidy, T., Lee, C., Shingfield, K. J. y 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. *J. Dairy Sci.*, 94(8), 4057-4074.
- Hristov, A. N., Oh, J., Firkins, J. L., Dijkstra, J., Kebreab, E., Waghorn, G. y Gerber, P. J. 2013. Special topics—Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. *J. Anim. Sci.*, 91(11), 5045-5069.
- Iason, G. R. y Mantecon, A. R. 1993. The effects of dietary protein level during food restriction on carcass and non-carcass components, digestibility and subsequent compensatory growth in lambs. *Animal Science*, 56(1), 93-100.
- INRA. 2007. Alimentation des bovins, ovins et caprins: besoins des animaux, valeurs des aliments: tables Inra 2007. Quae.
- INRA, 2018. INRA feeding system for ruminants. Wageningen Academic Publishers.
- Ip, C. y Pariza, M.W. 1991. Mammary Cancer Prevention by Conjugated Dienoic Derivative of Linoleic Acid. *Cancer Res.*, 51:6118-6124.
- Jacob, R. H. y Pethick, D. W. 2014. Animal factors affecting the meat quality of Australian lamb meat. *Meat Sci.*, 96(2), 1120-1123.
- Jenkins, T.C. 1993. Lipid Metabolism in the Rumen. *J. Dairy Sci.*, 76:3851-3863.
- Joy, M., Alvarez-Rodriguez, J., Sanz, A., Ripoll, G., Ferrer, J., Congost, S., Revilla, R., 2009. Utilización de recursos forrajeros en el cebo de corderos. In: Caprinotecnia, S.E.d.O.y. (Ed.), 34 Congreso nacional de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia, Barbastro, Spain, pp. 25-39.
- Jeung, H.L., Kyung, H.C., Lee, K.T. y Mee, R.K. 2005. Antiatherogenic effects of structured lipid containing conjugated linoleic acid in C57BL/6J mice. *J. Agric. Food Chem.* 53:7295-7301.
- Joy M., Sanz A., Ripoll G., Panea B., Ripoll-Bosch R., Blasco I. y Alvarez-Rodriguez J. 2012. Does forage type (grazing vs. hay) fed to ewes before and after lambing affect suckling lambs performance, meat quality and consumer purchase intention? *Small Rumin. Res.*, 104:1-9.
- Joy, M., Lobón, S., Blanco, M., Casasús, I., Baila, C., Bertolín, J. R. y Alvarez, J. 2019. Efecto del nivel de la proteína bruta sobre el estado metabólico en corderos ligeros.
- Kabir, F., Sahjalal, M., Chowdhury, S. A., Alam, J. y Islam, M. R. 2002. Effect of protein supplementation to grazing on growth and reproductive performance in female goats and sheep. *Pak. J. Biol. Sci.*, 5(6), 719-721.
- Kamalakar, R. B., Chiba, L. I., Divakala, K. C., Rodning, S. P., Welles, E. G., Bergen, W. G. y Nadarajah, N. K. 2009. Effect of the degree and duration of early dietary amino acid restrictions on subsequent and overall pig performance and physical and sensory characteristics of pork. *J. Anim. Sci.*, 87, 3596-3606.
- Kaneko, J. J., Harvey, J. W. y Bruss, M. L. (Eds.). 2008. Clinical biochemistry of domestic animals. Academic press.

- Karim, S. A., Santra, A. y Sharma, V. K. 2001. Pre-weaning growth response of lambs fed creep mixtures with varying levels of energy and protein. *Small Rumin. Res.*, 39(2), 137-144.
- Kawashima, T., Sumamal, W., Pholsen, P., Chaithiang, R. y Terada, F. 2000. Comparative Study on Energy and Protein Metabolisms of Brahman Cattle and Sheep given Ruzi Grass Hay with Different Levels of Soybean Meal. *Asian Australas. J. Anim. Sci.*, 13, 305-305.
- Kaya, I., Unal, Y., Sahin, T. y Elmali, D. 2009. Effect of different protein levels on fattening performance, digestibility and rumen parameters in finishing lambs. *J Anim. Vet. Adv.*, 8(8), 309-312.
- Kemp, J. D., Mahyuddin, M., Ely, D. G., Fox, J. D. y Moody, W. G. 1980. Effect of feeding systems, slaughter weight and sex on organoleptic properties, and fatty acid composition of lamb. *J. Anim. Sci.*, 51(2), 321-330.
- Khan, M. A., Lee, H. J., Lee, W. S., Kim, H. S., Kim, S. B., Ki, K. S. y Choi, Y. J. 2007. Starch source evaluation in calf starter: I. Feed consumption, body weight gain, structural growth, and blood metabolites in Holstein calves. *J. Diary Sci.*, 90(11), 5259-5268.
- Khan, F. A., Sahoo, A. y Karim, S. A. 2017. Moderate and high levels of dietary protein on clinico-biochemical and production responses of lambs to repeated *Haemonchus contortus* infection. *Small Rumin. Res.*, 150, 52-59.
- Kioumarsi, H., Khorshidi, K. J., Zahedifar, M., Zeidavi, A. R., Mirhosseini, S. Z. y Taherzadeh, M. R. 2008. The effect of dietary energy and protein level on performance, efficiency and carcass characteristics of Taleshi lambs. *Asian J. Anim. Vet. Adv.*, 3, 307-313.
- Kiran, D. y Mutsvangwa, T. 2009. Nitrogen utilization in growing lambs fed oscillating dietary protein concentrations. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 152(1-2), 33-41.
- Koenig, K. M. y Beauchemin, K. A. 2013. Nitrogen metabolism and route of excretion in beef feedlot cattle fed barley-based backgrounding diets varying in protein concentration and rumen degradability. *J. Anim. Sci.*, 91(5), 2295-2309.
- Kramer, J. K., Fellner, V., Dugan, M. E., Sauer, F. D., Mossoba, M. M. y Yurawecz, M. P. 1997. Evaluating acid and base catalysts in the methylation of milk and rumen fatty acids with special emphasis on conjugated dienes and total trans fatty acids. *Lipids*, 32(11), 1219-1228.
- Kreuzer, M. y Kirchgessner, M. 1985. N-Ansatz und N-Verwertung bei Kühen während und nach überhöhter Proteinversorgung: 2. Mitteilung Zum Einfluß von Proteinfehlernährung bei laktierenden Kühen und daraus entstehenden Nachwirkungen. *Z. Tierphysiol., Tierernaehr. Futtermittelkd.*, 53(1-5), 270-279.
- Krzywicki, K. 1979. Assessment of relative content of myoglobin, oxymyoglobin and metmyoglobin at the surface of beef. *Meat Sci.*, 3:1-9.
- Lane, M. A., Baldwin IV, R. L. y Jesse, B. W. 2002. Developmental changes in ketogenic enzyme gene expression during sheep rumen development. *J. Anim. Sci.*, 80(6), 1538-1544.

- Lanza, M., Bella, M., Priolo, A., Barbagallo, D., Galofaro, V., Landi, C. y Pennisi P. 2006. Lamb meat quality as affected by a natural or artificial milk feeding regime. *Meat Sci.*, 73:313-318.
- Lee M.R.F., Tweed J.K.S., Kim E.J. y Scollan N.D. 2012. Beef, chicken and lamb fatty acid analysis - a simplified direct bimethylation procedure using freeze-dried material. *Meat Sci.*, 92:863-866.
- Lestingi, A., Facciolongo, A. M., Jambrenghi, A. C., Ragni, M. y Toteda, F. 2016. The use of peas and sweet lupin seeds alone or in association for fattening lambs: Effects on performance, blood parameters and meat quality. *Small Rumin. Res.* 143: 15-23.
- Li, Y. y Watkins, B.A. 1998. Conjugated linoleic acids alter bone fatty acid composition and reduce ex vivo prostaglandin E2 biosynthesis in rats fed n-6 or n-3 fatty acids. *Lipids* 33:417-425.
- Lindahl, G., Lundström, K. y Tornberg, E. 2001. Contribution of pigment content, myoglobin forms and internal reflectance to the colour of pork loin and ham from pure breed pigs. *Meat Sci.*, 59(2), 141-151.
- Lobley, G., Connell, A., Lomax, M.A., Brown, D.S., Milne, E., Calder, A.G. y Farningham, D., 1995. Hepatic detoxification of ammonia in the ovine liver: possible consequences for amino acid catabolism. *Br. J. Nutr.* 73, 667-685.
- Lobón, S., Blanco, M., Sanz, A., Ripoll, G., Bertolín, J. R. y Joy, M. 2017. Meat quality of light lambs is more affected by the dam's feeding system during lactation than by the inclusion of quebracho in the fattening concentrate. *J Animal Sci.*, 95(11), 4998-5011.
- Ma, T., Wang, B., Zhang, N., Tu, Y., Si, B., Cui, K. y Diao, Q. 2017. Effect of protein restriction followed by realimentation on growth, nutrient digestibility, ruminal parameters, and transporter gene expression in lambs. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 231, 19-28.
- Maganhini, M. B., Mariano, B., Soares, A. L., Guarnieri, P. D., Shimokomaki, M. Y Ida, E. I. 2007. Carnes PSE (Pale, Soft, Exudative) e DFD (Dark, Firm, Dry) em lombo suíno numa linha de abate industrial. *Ciencia Tecnol. Alime.*, 27(1), 69-72.
- Mahmoud, A. E. 2013. Egypt. *J. Nut. and Feeds*, 16(May), 195–202.
- Mancini, R. A. y Hunt, M. 2005. Current research in meat color. *Meat Sci.*, 71(1), 100-121.
- Manso, T., Mantecón, A. R., Giráldez, F. J., Lavín, P. y Castro, T. 1998. Animal performance and chemical body composition of lambs fed diets with different protein supplements. *Small Rumin. Res.*, 29(2), 185-191.
- MAPAMA, 2018a.  
[https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/estadisticas/indicadoreseconomicosdelessectorovinoycaprino\\_carne\\_2018\\_tcm30-511496.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/estadisticas/indicadoreseconomicosdelessectorovinoycaprino_carne_2018_tcm30-511496.pdf)
- MAPAMA, 2018b. <https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/zootecnia/razas-ganaderas/razas/catalogo/autoctona-fomento/ovino/rasa-aragonesa/default.aspx>
- Martin, A. K. y Blaxter, K. L. 1965. The energy cost of urea synthesis in sheep. *Energy metabolism*, 83-91.

- Martins, A. A., Härter, C. J., Venturini, R. S., Motta, J. H., Teixeira, W. S., Macari, S. y Pires, C. C. 2019. Energy and protein requirements for maintenance of Texel lambs. *Animal*, 1-9.
- McKenna, D., Mies, P., Baird, B., Peiffer, K., Ellebracht, J. y Savell, J. 2005. Biochemical and physical factors affecting discoloration characteristics of 19 bovine muscles. *Meat Sci.*, 70, 665–682.
- Milis, C. y Liamadis, D. 2008. Nutrient digestibility and energy value of sheep rations differing in protein level, main protein source and non-forage fibre source. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 92(1), 44-52.
- Morrissey, P.A., Buckley, D.J., Sheehy, P.J. y Monahan, F.J. 1994. Vitamin E and meat quality. *Proc. Nutr. Soc.*, 53:289-295.
- Morrissey, P.A., Sheehy, P.J.A., Galvin, K., Kerry, J.P. y Buckley, D.J. 1998. Lipid stability in meat and meat products. *Meat Sci.*, 49:S73-S86.
- Mozaffarian, D. y Wu, J.H.Y. 2012. (n-3) Fatty acids and cardiovascular health: Are effects of EPA and DHA shared or complementary? *J. Nutr.*, 142:614S-625S.
- Muruz, H., Ismail, K. A. Y. A., Cetinkaya, N., Salman, M. y Atmaca, E. 2017. The effects of diets with different protein contents on growth performance and digestibility, and on some ruminal fermentation and blood parameters in Bafra lambs. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 23(6).
- Muwalla, M. M., Harb, M. Y. y Crosby, T. F. 1998. Effects of lasalocid and protein levels on the performance of Awassi lambs. *Small Rumin. Res.*, 28(1), 15-22.
- Nair, M. N., Suman, S. P., Li, S., Ramanathan, R. y Mancini, R. A. 2014. Temperature-and pH-dependent effect of lactate on in vitro redox stability of red meat myoglobins. *Meat Sci.*, 96(1), 408-412.
- Nair, M. N., Costa-Lima, B. R., Schilling, M. W. y Suman, S. P. 2017. Proteomics of Color in Fresh Muscle Foods. In *Proteomics in Food Science* (pp. 163-175). Academic Press.science, 78(6), 1485-1496.
- Nichols, K., Dijkstra, J., van Laar, H., Pacheco, S., van Valenberg, H. J. y Bannink, A. 2019. Energy and nitrogen partitioning in dairy cows at low or high metabolizable protein levels is affected differently by postrumen glucogenic and lipogenic substrates. *J. Dairy Sci.*, 102(1), 395-412.
- NRC. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle: 2001. National Academies Press.
- NRC. 2007. Committee on Nutrient Requirements of Small Ruminants, National Research Council, Committee on the Nutrient Requirements of Small Ruminants, Board on Agriculture, Division on Earth, & Life Studies. Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids.
- Okeudo, N. J. y Moss, B. W. 2005. Interrelationships amongst carcass and meat quality characteristics of sheep. *Meat Sci.*, 69(1), 1-8.
- Oliver, R., Ripoll, G., Casasús, I., Joy, M. y Blanco, M. 2017. Inclusión de guisante en la dieta de cebo sobre la calidad de la canal de corderos de razas Ojinegra de Teruel

- y Rasa Aragonesa. XVII Jornadas sobre Producción Animal: Zaragoza, 30 y 31 de mayo de 2017, p. 585-587.
- Opio, C., Gerber P., Mottet A., Falcucci A., Tempio G., MacLeod M., Vellinga T., Henderson B. y Steinfeld H. 2013. Greenhouse gas emissions from ruminant supply chain– A global life cycle assessment. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome. 191 p.
- Ørskov, E. R., McDonald, I., Fraser, C. y Corse, E. L. 1971. The nutrition of the early-weaned lamb: III. The effect of ad libitum intake of diets varying in protein concentration on performance and on body composition at different live weights. *J Agr Sci.*, 77(3), 351-361.
- Pariza, M.W., Park, Y. y Cook, M.E. 1999. Conjugated linoleic acid and the control of cancer and obesity. *Toxicol. Sci.* 52:107-110.
- Park, Y. y Pariza, M.W. 2007. Mechanisms of body fat modulation by conjugated linoleic acid (CLA). *Food Res. Int.* 40:311-323.
- Pelegrín, J., Serrano-Pérez, B., Villalba, D., Molina, E. y Álvarez-Rodríguez, J. 2019. Uso del nitrógeno de urea en sangre para evaluar el nivel de proteína de las raciones de terneros de engorde. Universidad de Lleida. AIDA. XVIII J. Prod. Ani., 182-185.
- Pereira, E. S., Lima, F. W. R., Marcondes, M. I., Rodrigues, J. P. P., Campos, A. C. N., Silva, L. P. y Oliveira, R. L. 2017. Energy and protein requirements of Santa Ines lambs, a breed of hair sheep. *Animal*, 11(12), 2165-2174.
- Pfeffer, E., Holthausen, A., Griese, H., Hovenjürgen, M., Kehraus, S., Boeser, U. y Looff, M. 2010. Nitrogen excretion of fattening heifers fed mixed rations with different crude protein concentrations. *Züchtungskunde*, 82(2), 144-154.
- Pittroff, W., Keisler, D. H. y Blackburn, H. D. 2006. Effects of a high-protein, low-energy diet in finishing lambs: 1. Feed intake, estimated nutrient uptake, and levels of plasma metabolites and metabolic hormones. *Livest. Sci.* 101(1-3), 262-277.
- Ponnampalam, E. N., Sinclair, A. J., Hosking, B. J. y Egan, A. R. 2002. Effects of dietary lipid type on muscle fatty acid composition, carcass leanness, and meat toughness in lambs. *J. Anim. Sci.*, 80(3), 628-636.
- Ponnampalam, E. N., Dixon, R. M., Hosking, B. J. y Egan, A. R. 2004. Intake, growth and carcass characteristics of lambs consuming low digestible hay and cereal grain. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 114(1-4), 31-41.
- Prache, S. y Theriez, M. 1999. Traceability of lamb production systems: Carotenoids in plasma and adipose tissue. *Animal Sci.* 69:29-36.
- Preston, R. L., Schnakenberg, D. D. y Pfander, W. H. 1965. Protein utilization in ruminants: I. Blood urea nitrogen as affected by protein intake. *J Nutr.*, 86(3), 281-288.
- Priolo A., Micol D., Agabriel J., Prache S. y Dransfield E. 2002. Effect of grass or concentrate feeding systems on lamb carcass and meat quality. *Meat Sci.* 62:179-185.
- Priolo, Q. y Vasta, V. 2007. Effects of tannin-containing diets on small ruminant meat quality. *Ital. J. Anim. Sci.* 6, 527-530.

- Purroy, A., Echaide, H., Muñoz, F., Arana, A. y Mendizabal, J. A. 1993. The effect of protein level and source of legume seeds on the growth and fattening of lambs. *Livest. Sci.* 34, (1-2), 93-100.
- Rajabi, M., Rouzbehani, Y. y Rezaei, J. 2017. A strategy to improve nitrogen utilization, reduce environmental impact, and increase performance and antioxidant capacity of fattening lambs using pomegranate peel extract. *J. Anim. Sci.*, 95(1), 499-510.
- Reed, K. F., Bonfa, H. C., Dijkstra, J., Casper, D. P. y Kebreab, E. 2017. Estimating the energetic cost of feeding excess dietary nitrogen to dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 100(9), 7116-7126.
- Renerre, M. T. 1990. Factors involved in the discoloration of beef meat. *Int J Food Sci. Technol.*, 25(6), 613-630F
- Renerre, M., Anton, M. y Gatellier, P. 1992. Autoxidation of purified myoglobin from two bovine muscles. *Meat Sci.* 32, 331-342.
- Reynolds, C. K. y Kristensen, N. B. 2008. Nitrogen recycling through the gut and the nitrogen economy of ruminants: an asynchronous symbiosis. *J. Anim. Sci.*, 86(suppl\_14), E293-E305.
- Ríos-Rincón, F. G., Estrada-Angulo, A., Plascencia, A., López-Soto, M. A., Castro-Pérez, B. I., Portillo-Loera, J. J. y Dávila-Ramos, H. 2014. Influence of protein and energy level in finishing diets for feedlot hair lambs: growth performance, dietary energetics and carcass characteristics. *Asian Austral J. Anim.*, 27(1), 55.
- Ripoll G., Joy M., Muñoz, F. y Albertí, P. 2008. Meat and fat colour as a tool to trace grass-feeding systems in light lamb production. *Meat Sci.*, 80:239-248.
- Ripoll, G., Joy, M. y Muñoz, F. 2011. Use of dietary vitamin E and selenium (Se) to increase the shelf life of modified atmosphere packaged light lamb meat. *Meat Sci.*, 87(1), 88-93.
- Ripoll G., Albertí P. y Joy M. 2012. Influence of alfalfa grazing-based feeding systems on carcass fat colour and meat quality of light lambs. *Meat Sci.*, 90:457-464.
- Ripoll, G., González-Calvo, L., Molino F., Calvo, J.H. y Joy, M. 2013. Effects of finishing period length with vitamin E supplementation and alfalfa grazing on carcass color and the evolution of meat color and the lipid oxidation of light lambs. *Meat Sci.*, 93:906-913.
- Ripoll, G., M. Blanco, B. Panea y M. Joy. 2017. Efecto del peso canal y el tiempo de oreo en la canal y carne de raza Ojinegra de Teruel.
- Robbins, K., Jensen, J., Ryan, K.J., Homco-Ryan, C., McKeith, F.K. y Brewer, M.S. 2003. Consumer attitudes towards beef and acceptability of enhanced beef. *Meat Sci.* 65:721-729.
- Rocha, M. H. M. D., Susin, I., Pires, A. V., Fernandes Jr, J. D. S. y Mendes, C. Q. 2004. Performance of Santa Ines lambs fed diets of variable crude protein levels. *Sci Agric.*, 61(2), 141-145.

- Ruiz-Nuño, A., Uribe, J. J., Orozco, J. R., Fuentes, V. O. 2009. The effect of different protein concentrations in the diet of fattening Dorper and Pelibuey lambs. *J. Anim. Vet. Adv.*, 8(6), 1049-1051.
- Rust, R. E. y D. G., Olson. 1973. Meat curing principles and modern practices. Koch Supplies, Inc.
- Santos, R. S., Ribeiro, K. G., Valadares, S. C., Pereira, O. G., Villela, S. D. J., Rennó, L. N. y Silva, J. L. 2015. Effects of diets with high and low protein contents and two concentrate levels in Santa Ines× Texel lambs. *Livest. Sci.*, 177, 79-87.
- Sañudo, C. 1992. Calidad organoléptica de la carne. *Tecnología u calidad de productos cárnicos*, 29-44.
- Sañudo, C., Santolaria, M. P., María, G., Osorio, M. y Sierra, I. 1996. Influence of carcass weight on instrumental and sensory lamb meat quality in intensive production systems. *Meat Sci.*, 42(2), 195-202.
- Sañudo, C., Sanchez, A. y Alfonso, M. 1998. Small ruminant production systems and factors affecting lamb meat quality. *Meat Sci.*, 49, S29-S64.
- Sañudo, C., Enser, M. E., Campo, M. M., Nute, G. R., María, G., Sierra, I. y Wood, J. D. 2000. Fatty acid composition and sensory characteristics of lamb carcasses from Britain and Spain. *Meat Sci.*, 54(4), 339-346.
- Sañudo C., Alfonso, M., San Julián, R., Thorkelsson, G., Valdimarsdottir, T., Zygoiannis, D., Stamatidis, C., Piasentier, E., Mills, C., Berge, P., Dransfield, E., Nute, G.R., Enser, M. y Fisher, A.V. 2007. Regional variation in the hedonic evaluation of lamb meat from diverse production systems by consumers in six European countries. *Meat Sci.*, 75:610-621.
- Sañudo, C. 2014. Calidad de la canal y de la carne en los ovinos: factores que la determinan. *Revista Argentina de Producción Animal*, 26(2), 155-167.
- Seoni, E., Battacone, G., Silacci, P., Kragten, S. A., Chelali, J. M., Dohme-Meier, F. y Bee, G. 2018. Effect of condensed tannins from Birdsfoot trefoil and dietary protein level on growth performance, carcass composition and meat quality of ram lambs. *Small Rumin. Res.*, 169, 118-126.
- Schroeder, G. F. y Titgemeyer, E. C. 2008. Interaction between protein and energy supply on protein utilization in growing cattle: A review. *Livest. Sci.*, 114(1), 1-10.
- Schuba, J., Südekum, K. H., Pfeffer, E. y Jayanegara, A. 2017. Excretion of faecal, urinary urea and urinary non-urea nitrogen by four ruminant species as influenced by dietary nitrogen intake: A meta-analysis. *Livest. Sci.*, 198, 82-88.
- Sebsibe, A. 2008. Sheep and goat meat characteristics and quality. *Sheep and Goat Production Handbook for Ethiopia*. Ethiopian Sheep and Goats Productivity Improvement Program (ESGPIP), Addis Ababa, Ethiopia. pp323-328.
- Sierra I. Razas Aragonesas de Ganado. Departamento de Agricultura. Gobierno de Aragón. 2002: 26-36.

- Sinclair, K. D., Garnsworthy, P. C., Mann, G. E. y Sinclair, L. A. 2014. Reducing dietary protein in dairy cow diets: implications for nitrogen utilization, milk production, welfare and fertility. *Animal*, 8(2), 262-274.
- Soto-Navarro, S. A., Goetsch, A. L., Sahlu, T. y Puchala, R. 2004. Effects of level and source of supplemental protein in a concentrate-based diet on growth performance of Boer× Spanish wether goats. *Small Rumin. Res.*, 51(1), 101-106.
- Suárez-Belloch, J., Latorre, M. A. y Guada, J. A. 2016. The effect of protein restriction during the growing period on carcass, meat and fat quality of heavy barrows and gilts. *Meat Sci.*, 112, 16-23.
- Suarez-Mena, F. X., Hu, W., Dennis, T. S., Hill, T. M. y Schlotterbeck, R. L. 2017.  $\beta$ -Hydroxybutyrate (BHB) and glucose concentrations in the blood of dairy calves as influenced by age, vaccination stress, weaning, and starter intake including evaluation of BHB and glucose markers of starter intake. *Journal of dairy science*, 100(4), 2614-2624.
- Sultan, J. I., Javaid, A. y Aslam, M. 2010. Nutrient digestibility and feedlot performance of lambs fed diets varying protein and energy contents. *Trop. Anim. Health Prod.*, 42(5), 941-946.
- Tam, L. G., Berg, E. P., Gerrard, D. E., Sheiss, E. B., Tan, F. J., Okos, M. R. y Forrest, J. C. 1998. Effect of halothane genotype on porcine meat quality and myoglobin autoxidation. *Meat Sci.*, 49(1), 41-53.
- Teye, G. A., Sheard, P. R., Whittington, F. M., Nute, G. R., Stewart, A. y Wood, J. D. 2006. Influence of dietary oils and protein level on pork quality. 1. Effects on muscle fatty acid composition, carcass, meat and eating quality. *Meat Sci.*, 73(1), 157-165.
- Theodoridis, A., Ragkos, A., Roustemis, D., Galanopoulos, K., Abas, Z. y Sinapis, E. 2012. Assessing technical efficiency of Chios sheep farms with data envelopment analysis. *Small Rumin. Res.*, 107(2-3), 85-91.
- Tripathi, M. K., Chaturvedi, O. H., Karim, S. A., Singh, V. K. y Sisodiya, S. L. 2007. Effect of different levels of concentrate allowances on rumen fluid pH, nutrient digestion, nitrogen retention and growth performance of weaner lambs. *Small Rumin. Res.*, 72(2-3), 178-186.
- VandeHaar, M. J. y St-Pierre, N. 2006. Major advances in nutrition: relevance to the sustainability of the dairy industry. *J. Diary Sci.*, 89(4), 1280-1291.
- Van Emon, M. L., Vonnahme, K. A., Eckerman, S. R., Berg, P. T., Maddock-Carlin, K. R. y Schauer, C. S. 2017. Effects of metabolizable protein supplementation to ewes during late gestation on wether lamb feedlot performance, carcass characteristics, and nitrogen balance. *Small Rumin. Res.*, 150, 118-125.
- Van Soest, P. V., Robertson, J. B. y Lewis, B. A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Diary Sci.*, 74(10), 3583-3597.
- Van Soest, P. J. 2018. Nutritional ecology of the ruminant. Cornell university press.

- Vosooghi-Poostindoz, V., Foroughi, A. R., Delkhoroshan, A., Ghaffari, M. H., Vakili, R. y Soleimani, A. K. 2014. Effects of different levels of protein with or without probiotics on growth performance and blood metabolite responses during pre-and post-weaning phases in male Kurdi lambs. *Small Rumin. Res.*, 117(1), 1-9.
- Waldrip, H. M., Todd, R. W. y Cole, N. A. 2013. Prediction of nitrogen excretion by beef cattle: A meta-analysis. *J. Anim. Sci.*, 91(9), 4290-4302.
- Wickersham, T. A., Titgemeyer, E. C., Cochran, R. C., Wickersham, E. E. y Gnad, D. P. 2008. Effect of rumen-degradable intake protein supplementation on urea kinetics and microbial use of recycled urea in steers consuming low-quality forage. *J. Anim. Sci.*, 86(11), 3079-3088.
- Williamson, C.S., Foster, R.K., Stanner, S.A. y Buttriss, J.L. 2005. Red meat in the diet. British Nutrition Foundation. *Nutrition Bulletin* 30.
- Wood, J. D. y Enser, M. 1997. Factors influencing fatty acids in meat and the role of antioxidants in improving meat quality. *Brit J Nutr*, 78(1), S49-S60.
- Wood, J.D., Enser, M., Fisher, A.V., Nute, G.R., Richardson, R.I. y Sheard, P.R. 1999. Animal nutrition and metabolism group symposium on 'improving meat production for future needs'. Manipulating meat quality and composition. *Proc. Nutr. Soc.*, 58:363-370.
- Wood, J.D., Richardson, R.I., Nute, G.R., Fisher, A.V., Campo, M.M., Kasapidou, E., Sheard P.R. y Enser M. 2003. Effects of fatty acids on meat quality: review. *Meat Sci.*, 66.
- Wood, J. D., Richardson, R. I., Nute, G. R., Fisher, A. V., Campo, M. M., Kasapidou, E. y Enser, M. 2004. Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Sci.*, 66(1), 21-32.
- Wyszecki, G. y Styles, W.G. 1982. Colour Science: Concepts and methods, quantitative data and formulae. 2nd ed. John Wiley and Sons, Inc.
- Youssef, M. K. y Barbut, S. 2009. Effects of protein level and fat/oil on emulsion stability, texture, microstructure and color of meat batters. *Meat Sci.*, 82(2), 228-233.
- Yurtman, I. Y., Savas, T., Karaagac, F. y Coskuntuna, L. 2002. Effects of daily protein intake levels on the oral stereotypic behaviours in energy restricted lambs. *Appl Anim Behav Sci.*, 77(1), 77-88.
- Zervas, G., Hadjigeorgiou, I., Zabeli, G., Koutsotolis, K. y Tziala, C. 1999. Comparison of a grazing- with an indoor-system of lamb fattening in Greece. *Livest. Sci.*, 61:245-251.
- Zhou, J. W., Mi, J. D., Degen, A. A., Ding, L. M., Guo, X. S., Shang, Z. H. y Long, R. J. 2017. Urinary purine derivatives excretion, rumen microbial nitrogen synthesis and the efficiency of utilization of recycled urea in Tibetan and fine-wool sheep. *Anim Feed Sci Tech*. 227, 24-31.
- Zhou, J. W., Guo, Y. M., Kang, J. P., Degen, A. A., Titgemeyer, E. C., Jing, X. P. y Long, R. J. 2019. Tibetan sheep require less energy intake than small-tailed Han sheep for N balance when offered a low protein diet. *Anim Feed Sci Tech*, 248, 85-94.

