



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del
Medio Rural

Industrias Agrarias y Alimentarias

Mejora de la calidad de la canal y carne de terneros mediante la
inclusión de esparceta en la dieta

Improvement of carcass and meat quality of young bulls through
the inclusion of sainfoin in the diet

Autor

Marta Garrido Ezquerro

Director/es

Mireia Blanco Alibés

Guillermo Ripoll García

Ponente

María Videgain Marco

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

2024

Declaración expresa de autoría

“El Trabajo de Fin de Grado que presento para su exposición y defensa es original y todas las fuentes utilizadas para su realización han sido debidamente citadas en el mismo”.

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized initial 'A' followed by a horizontal line extending to the right.

Firmado por la alumna

Agradecimientos

A Mireia y Guillermo, mis directores, por darme la oportunidad de realizar este trabajo, por su dedicación, disponibilidad y enseñanza durante todo este proceso.

A María, ponente de mi TFG, por su orientación, ayuda y apoyo siempre que lo he necesitado.

A todo el personal del Departamento de Ciencia Animal del CITA por la ayuda y compañía que me brindaron mientras estuve en sus laboratorios.

A la empresa cárnica Fribin, por haber accedido a participar en este proyecto, por su compromiso y buen hacer.

Al Ministerio de Ciencia e Innovación, por ser la entidad financiadora del proyecto titulado *“Inclusión de recursos locales en dietas de cebo de vacuno: Biomarcadores de eficiencia y calidad (LocalBeef). PID 2021-128492OR-I00”* que da marco a este Trabajo Fin de Grado.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	5
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	6
RESUMEN Y ABSTRACT	i
Resumen.....	i
Abstract.....	ii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Importancia del vacuno de carne y su industria cárnica asociada en España	1
1.2. La industria de piensos en España	2
1.2.1. La soja como materia prima de piensos para ganado.....	3
1.2.2. Búsqueda de alternativas locales a la soja: esparceta (<i>Onobrychis viciifolia</i>)	5
1.3. Las características de la canal: efecto de la inclusión de esparceta en la dieta.....	8
1.4. Las características de la carne: efecto de la inclusión de esparceta en la dieta	11
1.4.1. pH	11
1.4.2. Composición química	12
1.4.3. Color	14
1.4.4. Dureza	16
1.4.5. Oxidación lipídica	17
2. OBJETIVOS	21
3. MATERIAL Y MÉTODOS	22
3.1. Animales y dietas	22
3.2. Procesado de las canales y medidas de la canal.	24
3.3. Muestreo y parámetros de calidad de la carne	25
3.3.1. pH	25
3.3.2. Composición química	26
3.3.3. Color	26
3.3.4. Dureza y fuerza máxima.....	27
3.3.5. Oxidación lipídica	28
3.4. Análisis estadístico	29
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.1. Características de la canal	31
4.2. Características de la carne	33
5. CONCLUSIONES	48
6. BIBLIOGRAFÍA	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ingredientes y composición química de los alimentos	23
Tabla 2. Ingestión diaria de pienso y forraje durante la fase de crecimiento (semana 0 a 15), acabado (semana 16 a 28) y global (semana 0 a 28) según la dieta recibida	24
Tabla 3. Efecto de la inclusión de esparceta en la dieta de los terneros sobre el peso al sacrificio y los parámetros de la canal	31
Tabla 4. Efecto de la inclusión de esparceta en la dieta de los terneros sobre la composición química del músculo longissimus thoracis	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de canales vacunas según la clase de conformación y engrasamiento (MAPA, 2022b)	10
Figura 2. Dietas ofrecidas a los grupos de animales.....	23
Figura 3. Efecto de la dieta suministradas a terneros sobre la luminosidad (L*) del músculo LT a lo largo del tiempo de exposición al oxígeno (T)	36
Figura 4. Evolución del índice de rojo (a*) con el tiempo de exposición al oxígeno en el músculo	38
Figura 5. Evolución del índice de amarillo (b*) con el tiempo de exposición al oxígeno (T) en el músculo LT. Distintas letras indican diferencias (P<0,05).....	38
Figura 6. Evolución del parámetro saturación (C*ab) con el tiempo de exposición al oxígeno (T) en el músculo LT. Distintas letras indican diferencias (P<0,05)	39
Figura 7. Efecto de la dieta suministrada a los terneros (A) y el tiempo de exposición al oxígeno (B) sobre el tono (h _{ab}) del músculo LT.	40
Figura 8. Evolución del porcentaje de metamioglobina (MMb) del músculo LT durante el tiempo de exposición al oxígeno (T) según la dieta suministrada a los terneros	41
Figura 9. Evolución del esfuerzo máximo con el tiempo de maduración (T) en el músculo LT..	42
Figura 10. Efecto de la dieta de los terneros (A) y el tiempo exposición al oxígeno (B) sobre la oxidación lipídica en el músculo LT. MDA: malondialdehido.....	44

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Cultivo esparceta (<i>Onobrychis viciifolia</i> Scop.).....	6
Fotografía 2. Terneros de estudio en la granja experimental de la Cooperativa de IVARS en Montsua (Lérida).....	22
Fotografía 3. Heno y pélets de esparceta.....	22
Fotografía 4. Determinación de pH del músculo LT.	26
Fotografía 5. Determinación composición química con espectrómetro de infrarrojo cercano.	26
Fotografía 6. Máquina Instron para la realización del método Warner-Bratzler.....	27
Fotografía 7. Recta patrón para la determinación de la oxidación lipídica.....	28

RESUMEN Y ABSTRACT

Resumen

La esparceta (*Onobrychis viciifolia*), leguminosa forrajera local con contenido medio de proantocianidinas, podría ser utilizada en las dietas de cebo de terneros. Este estudio evalúa el impacto de su inclusión como heno o incluido en el pienso el 15% pélet (pienso ESP) en la calidad de la canal y carne de terneros.

Se alimentaron 40 terneros Montbéliarde con cuatro dietas durante 28 semanas: pienso+paja, pienso+heno, pienso ESP+paja y pienso ESP+heno. Se estudió la canal: peso, rendimiento, conformación y engrasamiento; y carne: composición química; color, metamioglobina y oxidación lipídica durante 11 días y esfuerzo durante 14 días.

A pesar del diferente peso al sacrificio, las canales presentaron similar peso y engrasamiento, pero las de los terneros pienso+heno presentaron peor conformación que los de pienso ESP+paja. La dieta solo afectó al tono de la carne, siendo inferior en pienso+paja que en pienso ESP+heno; y a la oxidación lipídica siendo superior en los terneros pienso+heno. El tiempo de exposición al oxígeno y maduración de la carne afectaron a todos los parámetros pero sus valores fueron aceptables durante todo el tiempo. Por todo esto, se puede recomendar la inclusión de la esparceta tanto en heno como pélet en las dietas de cebo de terneros.

Palabras clave: *Onobrychis viciifolia*, *pélet*, *heno*, *proantocianidinas*, *calidad de la carne*, *calidad de la canal*

Abstract

Sainfoin (*Onobrychis viciifolia*), a local forage legume with a moderate proanthocyanidin content, could be used in traditional bovine feeding systems. This study evaluates the impact of including sainfoin either as hay or as a 15% pellet (ESP feed) in the diet on the carcass and meat quality of calves.

Forty Montbéliarde calves were fed four diets over 28 weeks: feed+straw, feed+hay, ESP feed+straw, and ESP feed+hay. The study examined the following carcass characteristics: weight, yield, conformation, and fat cover; as well as meat characteristics: chemical composition, color, metmyoglobin, and lipid oxidation over 11 days, and stress over 14 days.

Despite the differences in slaughter weight, carcasses showed similar weight and fat cover, although the feed+hay group had poorer conformation compared to the ESP feed+straw group. The diet only affected meat tone, which was lower in the feed+straw group than in the ESP feed+hay group, and lipid oxidation, which was higher in the feed+hay group. Oxygen exposure and meat aging time affected all parameters, but values remained acceptable throughout the period. Based on everything we have just mentioned, including sainfoin in both hay and pellet form in calf fattening diets is recommended.

Keywords: *Onobrychis viciifolia*, pellet, hay, proanthocyanidins, meat quality, carcass quality

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Importancia del vacuno de carne y su industria cárnica asociada en España

El sector de vacuno de carne representa en España alrededor del 15% del valor anual de la producción ganadera y del 5 % del valor de la producción agraria total, situando a España como tercer país más importante en este ámbito dentro de la Unión Europea, por detrás de Francia y Alemania (MAPA, 2023b). Este sector se sostiene sobre la actividad de dos segmentos productivos diferenciados, pero estrechamente relacionados. Por un lado, los productores dedicados a la cría de vacas nodrizas para la producción de terneros. Por otro lado, los productores especializados en la cría de terneros para engorde y producción de carne, una actividad muy orientada al mercado nacional e internacional (MAPA, 2023c).

En España, el censo bovino total se encuentra estabilizado alrededor de los 6,5 millones de cabezas distribuidas en 2022 (MAPA, 2022a) en 136.536 explotaciones. La mayoría de estas explotaciones corresponden a cebaderos destinados a la producción de carne, concentrándose la mayor parte del censo en Cataluña (25,92%) y Aragón (20,19%), siendo Lérida la provincia con mayor número de cabezas (16,60%), seguida de Huesca (15,49%) (MAPA, 2023c). El cebo de ganado vacuno puede llevarse a cabo tanto con sistemas de alimentación intensivos como con extensivos. En las zonas húmedas de nuestro país con elevada producción de pastos, el engorde de terneros se puede realizar en extensivo (Acero, 2009), mientras que en el resto del país se realiza de manera intensiva. En dicho sistema, la alimentación suele ser *ad libitum* a base piensos compuestos (85-90%), basados principalmente en cereales y paja (10-15%). El pienso se suele aportar mediante tolvas o sistemas automatizados de distribución, mientras que la paja se aporta en comederos para este fin.

La base genética utilizada en el cebo vacuno es muy amplia. La mayoría del ganado sacrificado en España corresponde al llamado conjunto mestizo (50%), seguido de la raza Frisona (25%) y con menor proporción la Limusina (7%), Montbéliarde (4%) y Angus (3%) (MAPA, 2022a). Además, el sexo de los animales de cebadero está condicionado por el sistema del que provienen. En el conjunto mestizo, el 55% de los terneros son machos y el 45% son hembras. En razas como la Frisona y Montbéliarde, utilizadas en sistemas lecheros donde las hembras se reservan para la reposición, más del 90% de los animales son machos. En razas de aptitud cárnica, el porcentaje de machos se reduce al 60-70%, y en la Blanca Azul Belga, al 10%. En concreto, en Aragón y Cataluña en 2021, entre el 65-75% del ganado destinado al cebo fue de conjunto mestizo o frisona y entre el 70-80% fueron machos (MAPA, 2022a).

El sexo y la edad del animal son los factores que condicionan la clasificación de las canales por categorías comerciales. Sin embargo, son el engrasamiento y la conformación de la canal los aspectos que definen la clasificación de las canales por clases comerciales. En 2021, la categoría con mayores tasas de sacrificio en España fueron bovinos de entre 8 y 12 meses (Categoría Z), seguidos de los de categoría A, correspondientes a machos sin castrar entre 12 y 24 meses de edad. Respecto a las clases, teniendo en cuenta la conformación, la clase más frecuente fue la U (muy bueno), mientras que en cuanto al grado de engrasamiento, la clase más frecuente fue la 2 (poco cubierto) (MAPA, 2022b).

Respecto a la importancia de la industria cárnica asociada, en el contexto europeo, España ocupa un lugar relevante, posicionándose como cuarto productor y aportando un 11% de la producción total europea. La producción de carne de vacuno en nuestro país viene mostrando una tendencia creciente en los últimos años, produciendo en 2022 un total de 731.527 toneladas de carne de esta especie, a partir de 2,6 millones de cabezas (MAPA, 2023c). Este tipo de carne se posiciona como el tercero más consumido en España, con una media de 13,1 kg/habitante/año (MAPA, 2023a). Además, la evolución del consumo actual de carne de vacuno está siendo marcada por la tónica del contexto de precios, aumentando su consumo fuera del hogar, y disminuyendo su consumo en los hogares debido a su mayor coste, que lleva a optar por alternativas más económicas (MAPA, 2023c).

1.2. La industria de piensos en España

La creciente demanda de alimentos en los últimos años ha llevado consigo un crecimiento del sector ganadero, y especialmente el llevado a cabo en intensivo. Esto ha generado un incremento en la demanda y producción de piensos para animales y, por ende, un gran desarrollo en las últimas décadas del sector de la alimentación animal en España y en el resto de Europa.

Los piensos compuestos elaborados en este tipo de industrias y destinados a la alimentación de animales en intensivo corresponden con mezclas de al menos dos materias primas, destinados a la alimentación de los animales y que pueden o no contener aditivos (Reglamento (CE) nº 767/2009)

España se encuentra entre los tres primeros productores de piensos compuestos de la Unión Europea y en la actualidad cuenta con 759 fábricas en su territorio. Su producción en el año 2022 fue de 37,5 millones de toneladas (Comisión Nacional de Coordinación en Materia de Alimentación Animal, 2022). Alrededor de 8 millones de toneladas correspondieron a pienso compuesto destinado a ganado vacuno (20,7% de producción sobre el total), de los cuales casi

la mitad eran empleados en la alimentación de terneros de engorde. La Comunidad Autónoma con mayor producción de pienso destinado a ganado vacuno fue Galicia, seguida de Castilla y León, Cataluña y Aragón. En concreto, en Aragón se produjeron en 2022 unos 5,8 millones de toneladas de piensos compuestos, de las cuales, unas 800.000 toneladas fueron destinadas a ganado vacuno (Comisión Nacional de Coordinación en Materia de Alimentación Animal, 2022).

La alimentación de los animales supone el principal coste de producción para los propietarios de las explotaciones ganaderas. Por ello, resulta necesario conocer las necesidades nutritivas de los animales para poder desarrollar raciones alimenticias que permitan optimizar la producción animal, elaborando alimentos con una alta calidad sanitaria y organoléptica a bajo precio (MAPA, 2023a).

La composición de los piensos destinados al cebo de terneros está basada principalmente en el uso de cereales, que constituyen habitualmente más del 60% del total de ingredientes. La combinación de cereales con almidón fácilmente fermentable (trigo y cebada) y cereales con almidón de fermentación más lenta (maíz) resulta beneficioso para reducir la incidencia de problemas intestinales y ruminales en los animales, tales como acidosis y meteorismo. Además, los animales reciben paja a voluntad junto con el pienso con el fin de estimular la motilidad ruminal y controlar la incidencia de problemas digestivos (Shrinivasa y Mathur, 2020). Para completar la formulación de estos piensos se recurre a ingredientes como harina de soja, subproductos de cereales (salvado de trigo, gluten de maíz, harina de galletas), subproductos de leguminosas (cascarilla de soja) y grasas (Shrinivasa y Mathur, 2020). Aunque en teoría son muchas las materias primas que pueden formar parte de los piensos compuestos, en la práctica quedan reducidas a aquellas cuyo suministro puede asegurarse de manera regular a lo largo del año y cuyo precio sea competitivo (Rodríguez, 1994).

En definitiva, los piensos deben estar formulados de tal manera que satisfagan las necesidades de los animales en cuanto a energía, grasa, proteína, fibra y demás compuestos nutritivos, siendo la cantidad de proteína y su calidad determinante en los piensos para terneros en crecimiento destinados a la producción de carne.

1.2.1. La soja como materia prima de piensos para ganado

En general, la harina de soja figura como principal fuente de proteínas en piensos compuestos destinados a ganado vacuno por su ventajosa relación entre elementos nutritivos y precio (CESFAC, 2021). Existen distintos productos de harina de soja con distinto contenido en proteína. Existe la harina de soja de alta proteína (47-48% PB), que se obtiene tras un proceso de

extracción de la grasa del haba con disolvente, y la harina de soja estándar (44% PB) resultante de la inclusión parcial de cascarilla en las harinas de alta proteína (FEDNA, 2024).

Su singularidad reside en el aporte excepcional energético y proteico (en particular del aminoácido esencial lisina) a un coste inferior a otros productos. Además, la soja contiene cantidades relevantes y con alta biodisponibilidad de otros nutrientes esenciales, tales como ácido linoleico y colina. Principalmente, todas estas características hacen que la soja sea actualmente la alternativa más eficiente para el aporte de proteínas en alimentación animal (CESFAC, 2021).

España es altamente dependiente de materias primas importadas destinadas a la producción de pienso, especialmente de fuentes de proteína. La producción de soja mundial son 363 millones de toneladas. En España se produjeron 4.200 toneladas, que representa menos del 1 por mil del total consumido en nuestro país, y se importaron alrededor de 6 millones de toneladas, procedentes en su mayoría de países terceros a la Unión Europea. Los principales productores y exportadores mundiales de soja son Brasil y Estados Unidos, con más del 60% de la producción mundial entre ambos países, y Argentina (MAPA, 2024). Así pues, un problema en uno de estos países supondría graves consecuencias en el mercado global, que afectaría al precio de este indispensable ingrediente.

Adicionalmente, la elevada producción de soja en los principales países productores ha traído consigo problemas medioambientales. Se ha producido la conversión de millones de hectáreas de bosques y praderas a tierra cultivable, produciéndose una gran deforestación del territorio, la intensificación del uso de tierras agrícolas y el abandono de la rotación de cultivos, produciéndose una fuerte erosión del terreno (Chancellor, 2018). Los cambios de uso de estos terrenos forestales, además de eliminar la vegetación, importante para la absorción de dióxido de carbono (CO₂) del aire, también produce emisiones de gases de efecto invernadero. Esto ha llevado a posicionar a la deforestación como la segunda causa principal de cambio climático, siendo la primera la quema de combustibles fósiles (CESFAC, 2021).

Por otro lado, el interés por el aumento del rendimiento en la producción ha desembocado en la expansión del cultivo de soja transgénica. Hoy en día, las tierras cultivadas con soja representan alrededor del 50% del área mundial de cultivos transgénicos, llegando a ser superior la superficie sembrada con soja transgénica que la destinada a soja convencional en países como Brasil (Huan-Yu et al., 2022). Estas variedades transgénicas resistentes a ciertos herbicidas han traído consigo la aplicación de grandes cantidades de los mismos. Este hecho puede provocar la contaminación de recursos hídricos y con ello producir afecciones tanto en la salud humana

como en la biodiversidad de los ecosistemas (Chancellor, 2018). Además, los consumidores muestran cierto rechazo y desconfianza ante los organismos genéticamente modificados (Akbari et al., 2019).

Por todo ello, la Unión Europea intenta fomentar la búsqueda de nuevas fuentes proteicas locales para alimentación animal que puedan sustituir a la soja (Diario Oficial de la Unión Europea, 2024). De esta manera, se pretende disminuir la dependencia de países terceros, incrementar la soberanía alimentaria en nuestro país y conseguir productos competitivos de alta calidad mediante prácticas más respetuosas con el medio ambiente, sin hacer uso de materias primas que causen desconfianza en los consumidores.

1.2.2. Búsqueda de alternativas locales a la soja: esparceta (*Onobrychis viciifolia*)

El cultivo de leguminosas para su posterior aprovechamiento en la alimentación de ganado vacuno aporta grandes beneficios agroecológicos en comparación con el cultivo de gramíneas. Por un lado, las leguminosas poseen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico al suelo a través de asociaciones simbióticas con bacterias allí situadas (*Rhizobium*) (Jena et al., 2022). Este hecho ayuda a satisfacer las necesidades de nitrógeno del cultivo y a enriquecer el suelo en dicho componente para los cultivos siguientes, reduciendo así la necesidad de abonado químico (Nygren y Leblanc, 2015). Además, son capaces de facilitar la reconstrucción de materia orgánica del suelo añadiendo una cantidad considerable de biomasa y nutrientes, así como de restringir plagas y patógenos cuando se incorporan en la rotación de cultivo. Como cultivos de cobertura, las leguminosas minimizan la erosión del terreno y, además, son buenas supresoras de flora arvense (Jena et al., 2022). Por otro lado, concretamente las leguminosas forrajeras resultan ser ingredientes muy interesantes para la alimentación de ganado vacuno. Estas especies se caracterizan por poseer contenidos más elevados de proteína y menores de fibra que los residuos de cereales, lo que las convierte en alimentos más digestibles para los animales, aumentando consecuentemente el valor nutricional del cultivo (Kebede et al., 2016).

Las leguminosas forrajeras más cultivadas en España son la alfalfa (*Medicago sativa*) y la esparceta (*Onobrychis viciifolia*), ambas con elevadas producciones, con composiciones químicas similares, pero que difieren en la presencia de compuestos secundarios, entre ellos los taninos condensados o proantocianidinas. La esparceta es una leguminosa perenne utilizada para alimentación animal, cultivada extensivamente en zonas mediterráneas y que cuenta con atributos agronómicos, ambientales y nutracéuticos positivos (Mora-Ortiz y Smith, 2018). En España se localiza casi en su totalidad en 14 provincias del noreste peninsular y es un cultivo que posee alta capacidad productiva (en torno a 15 toneladas de materia seca por hectárea)

(Delgado, Andrés y Muñoz, 2008). En 2019, del total de la superficie destinada al cultivo de esta especie en España (27.326 ha), el 45,3% se situó en la comunidad autónoma de Aragón (12.372 ha), lo que equivale a una producción en verde de alrededor de 73.000 toneladas, un tercio de las 220.500 toneladas del total del país. Esta producción se destinó principalmente a heno (185.985 toneladas), seguido de consumo en verde (25.581 toneladas), deshidratación (7.817 toneladas) y ensilado (1.185 toneladas) (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2020). Esta variedad de productos finales deriva de los diferentes métodos de conservación de la esparceta para optimizar su uso en alimentación animal, ya que la mayor parte de la producción anual de este cultivo se obtiene en el primer corte de primavera (Delgado, Andrés y Muñoz, 2008).



Fotografía 1. Cultivo esparceta (*Onobrychis viciifolia* Scop.)

Durante la henificación se reduce la humedad del forraje hasta alcanzar un nivel limitante del 25% o inferior, que inhiba el crecimiento y el desarrollo fúngico y bacteriano. El forraje una vez cosechado queda extendido sobre el terreno, expuesto al sol para llevar a cabo su secado durante el que se realiza el volteo continuo del forraje (Callejo y Díaz, 2004). Por otro lado, el ensilaje tiene como objetivo la conservación de los forrajes con la mínima pérdida de materia seca y de nutrientes, sin la producción de sustancias tóxicas para el animal. Este proceso de conservación consiste en el almacenaje de los forrajes frescos en silos protegidos del aire, la luz y la humedad exteriores, permitiendo la recolección de los forrajes en un estado vegetativo óptimo y conservar aquellos que por su naturaleza no pueden ser henificados o desecados de forma económica (Callejo, 2018). Otra manera de conservación que se viene realizando en los últimos años es la peletización, que consiste en un secado a alta temperatura por contacto indirecto con aire caliente (300-400°C) durante unos segundos y una posterior granulación mediante presión mecánica a través de un tamiz (a 60-70 °C).

La esparceta fresca posee un alto valor nutritivo como resultado de su elevado contenido en proteína cruda y ácido linolénico (C18:3 n-3). Este último se trata de un ácido graso esencial que debe ser ingerido con la dieta al no poder ser sintetizado por los humanos, y que además, como ácido graso n-3 que es, posee efectos beneficiosos relacionados con la salud humana (Deckelbaum y Torrejon, 2012). Además, también posee compuestos secundarios con propiedades antioxidantes, tales como polifenoles, carotenoides, tocoferoles y proantocianidinas, que pueden mejorar los parámetros de calidad de la carne, alargando su vida útil y mejorando su estado antioxidante (Lobón et al., 2017a; Leal et al., 2019).

En los rumiantes, los ácidos grasos insaturados son biohidrogenados por microorganismos ruminales, saturando los enlaces de esos ácidos grasos y convirtiéndolos en menos saludables para los consumidores. Sin embargo, componentes de la esparceta como las proantocianidinas son capaces de inhibir esta biohidrogenación ruminal, consiguiendo un alto nivel de ácidos grasos poliinsaturados en la carne, beneficiosos para la salud (Gruffat et al., 2020; Baila et al., 2023). Además, las proantocianidinas se han asociado también a posibles efectos mitigadores de la degradación de proteínas en el rumen, las emisiones de gases de efecto invernadero y la carga de parásitos (Gruffat et al., 2020). Sin embargo, los efectos de las proantocianidinas dependen de factores ligados a la planta, como son su contenido, sus características, factores medioambientales o su conservación; y de factores ligados al animal, como su estado fisiológico o la especie, entre otros (Patra y Saxena, 2011). No obstante, la mayoría de los estudios con esparceta han sido estudiados en ganado ovino, siendo muy escasos los estudios en vacuno de carne.

Por otro lado, los procesos de conservación, necesarios para optimizar el aprovechamiento de la esparceta, afectan a la composición química y a sus compuestos secundarios, aunque de manera diferente en función del tipo de conservación (Rufino-Moya et al., 2019). Los efectos durante el henificado están relacionados con varios aspectos. Por un lado, con las pérdidas de hojas durante el secado, que suponen la pérdida de proteínas y proantocianidinas, así como un incremento en el contenido de fibra (Aufreere et al., 2008). Por otro lado, el manejo de la esparceta previo a la conservación provoca la oxidación de los ácidos grasos insaturados, la disminución de ácidos grasos totales y el aumento de ácidos grasos saturados (Mierlita et al., 2017). La henificación es el proceso de conservación en el que se producen más estas transformaciones. Además, cabe destacar que tanto la esparceta fresca como el heno producido a partir de ella poseen elevada actividad antioxidante, debida a los efectos antioxidantes de los compuestos secundarios anteriormente mencionados. Rufino-Moya et al. (2022) encontraron una gran reducción de carotenoides y tocoferoles en el heno debido a que estos compuestos se

degradan fácilmente con la radiación UV y el oxígeno (Amorim-Carrilho et al., 2014). Sin embargo, la actividad antioxidante apenas se vio reducida ya que se encuentra fuertemente relacionada con los polifenoles y proantocianidinas totales, y no tanto con los carotenoides (Rufino-Moya et al., 2022).

Respecto a la técnica del peletizado, se ha comprobado que alimentar a los animales con pélets proporciona una mejor eficiencia alimentaria, un menor desperdicio de alimento, favorece la alimentación no selectiva y un mejor manejo y almacenamiento del producto (Orden et al., 2014). Además, la peletización mejora la digestibilidad del forraje y produce una reducción del contenido en fibra (Oyaniran et al., 2018). En cabras, la inclusión de forraje en el pienso incrementó el consumo y digestibilidad de nutrientes en comparación con el aporte de forraje y concentrado por separado (Orden et al., 2014). Sin embargo, las altas temperaturas a las cuales se somete el forraje pueden tener un efecto negativo sobre los compuestos secundarios, tal y como se ha comprobado con los carotenoides (Noziere et al., 2006) y las proantocianidinas (Maillard y Berset, 1995).

1.3. Las características de la canal: efecto de la inclusión de esparceta en la dieta

La canal es el cuerpo entero del animal sacrificado, después de las operaciones de sangrado, eviscerado y desollado (Reglamento (UE) nº 1308/2013, Anexo IV). Los atributos de calidad comercial de la canal en la UE se basan en la clasificación europea, compuesta por cuatro criterios: peso, sexo (+edad), conformación y engrasamiento (Clinquart et al., 2022). Las características de la canal están fuertemente influenciadas por factores relacionados con el animal, tales como el sexo, la edad, factores genéticos, entre los que destaca la raza, y por factores ambientales como la alimentación.

Conforme el animal se desarrolla, cambian las proporciones de músculo, grasa y hueso. Honig et al. (2022) observaron durante el crecimiento de terneros entre 120 y 780 kg una proporción similar de músculo, un incremento de la proporción de grasa y una reducción de la proporción de hueso con la edad. El peso al sacrificio y la composición de la canal están determinados por el estado de madurez, ya que las razas precoces depositan la grasa antes que las razas de madurez tardía. Además, el manejo de los animales, incluida la alimentación, y más concretamente la ingestión de energía, pueden repercutir en la calidad de la canal a través de su efecto sobre la velocidad de crecimiento y el grado de madurez del animal (Clinquart et al., 2022).

Diversos estudios han comprobado que la velocidad de crecimiento de terneros es mayor con dietas basadas en concentrados que con dietas ricas en forrajes (Duckett et al., 2013; Santos-

Silva et al., 2023), por lo que los animales alimentados con concentrados llegan a un mayor peso con la misma edad (Duckett et al., 2013; Terler et al., 2023).

Además, es importante tener en cuenta el rendimiento a la canal, expresado como el porcentaje de peso canal respecto del peso vivo antes de su sacrificio. Este parámetro tiene gran importancia a nivel comercial, ya que influye en el precio al que son pagados dichos animales, y en el momento en que deben ser sacrificados para que sus canales se ajusten a los rangos de pesos específicos. A medida que el animal crece, el rendimiento normalmente aumenta de manera constante debido a una mayor tasa de crecimiento de grasa y músculo que de crecimiento de los órganos internos del animal (Forbes, 2007). La alimentación puede tener influencia sobre este parámetro. La densidad energética de los alimentos es un parámetro que afecta al consumo voluntario de los mismos a través de mecanismos fisiológicos y metabólicos relacionados con la capacidad de los compartimentos digestivos o con los mecanismos endocrinos de saciedad (Forbes, 2007). Debido a que los forrajes poseen un menor contenido de energía metabolizable que los cereales, los animales compensan ese déficit con una mayor ingesta de alimento, que favorece un mayor peso del contenido gastrointestinal y, en consecuencia, un porcentaje más elevado de faenado y un menor rendimiento a la canal para terneros alimentados a base de forrajes frente a concentrados (Santos-Silva et al., 2023). Sin embargo, depende del tipo de forraje ingerido. Terneros alimentados en pastoreo hasta el sacrificio presentaron mayor rendimiento canal que terneros alimentados con una mezcla seca de heno del alfalfa y maíz (Ripoll et al., 2014), ya que normalmente se detecta un mayor llenado intestinal con heno que con otros forrajes, especialmente pastos frescos (Owens, et al. 1995). Sin embargo, terneros que pastaron alfalfa y terneros alimentados con pienso hasta los 460 kg tuvieron similar rendimiento canal (Blanco et al., 2010).

La clasificación de las canales se realiza en base a su conformación (rendimiento cárnico del animal con respecto al hueso) y al engrasamiento (cantidad de grasa que recubre la canal), tal y como se presenta en la Figura 1. En base a la conformación, las canales bovinas se clasifican siguiendo el modelo SEUROP que otorga diferentes categorías desde la S (superior) hasta la P (mediocre), mientras que la clasificación de las canales teniendo en cuenta el engrasamiento contempla grados del 1 (cobertura de tipo no graso) al 5 (cobertura de tipo muy graso) (MAPA, 2022b).



Figura 1. Clasificación de canales vacunas según la clase de conformación y engrasamiento (MAPA, 2022b)

Ambos parámetros dependen de distintos factores. La conformación depende principalmente del tipo de raza, mientras que el engrasamiento se ve afectado adicionalmente por factores como la edad y la madurez del animal. Las razas de madurez precoz depositan mayores cantidades de grasa con respecto a las de madurez tardía (Cliquart et al., 2022). La dieta puede afectar a ambos factores. Duckett et al. (2013) y Santos-Silva et al. (2023) encontraron mayores porcentajes de grasa subcutánea en animales alimentados con forraje frente a los alimentados a base de concentrado, mientras que Terler et al. (2023) observaron mayores porcentajes en terneros alimentados con heno y concentrado, frente a los alimentados a base únicamente de heno. Madruga et al. (2019) observaron que la inclusión de heno de alfalfa sustituyendo a la paja no afectó al peso de la canal, conformación ni engrasamiento de la canal. Igualmente, Blanco et al. (2010) encontraron que las canales de terneros alimentadas con distintas estrategias de engorde basadas en concentrado frente a las constituidas por pastoreo de alfalfa y concentrado fueron similares en conformación y grado de engrasamiento.

Aunque existe un gran número de estudios que valoran los efectos sobre la calidad de la canal que produce la inclusión de forrajes de calidad en las dietas animales, el número disminuye cuando nos centramos en la esparceta, siendo prácticamente nulas las investigaciones centradas en el efecto de la misma sobre la calidad de la canal de vacuno. Maughan et al. (2014) compararon las canales de terneros en pastoreo de alfalfa frente esparceta, encontrando mejor conformación y engrasamiento en las canales procedentes del pastoreo de esparceta. En corderos, Baila et al. (2024) estudiaron la inclusión de pélets de esparceta en el pienso, no encontrando efecto sobre el peso canal ni sobre su grado de engrasamiento. Rivaroli et al. (2019) estudiaron la suplementación de dietas de pastoreo de corderos con pélets de esparceta encontrando un similar engrasamiento de las canales a pesar de presentar mayor peso al sacrificio.

El hecho de que no se encuentren diferencias en parámetros que condicionan la decisión de compra, confirman que la inclusión de un recurso local es capaz de producir canales homogéneas, tal y como demandan los consumidores. Por todo ello, resulta de interés estudiar y evaluar si la inclusión de esparceta en la dieta de ganado vacuno trae consigo la misma tendencia en los parámetros de calidad de la canal que presenta la inclusión de este recurso local en otros tipos de ganado previamente estudiados.

1.4. Las características de la carne: efecto de la inclusión de esparceta en la dieta

La carne corresponde con las partes comestibles de ungulados domésticos, aves de corral, lagomorfos y caza, incluida la sangre (Reglamento (CE) nº 853/2004). Entre los factores intrínsecos que condicionan la calidad de la carne, destacan la textura, color y su composición, especialmente la grasa, que a su vez se ven afectados por factores como la edad del animal, la alimentación recibida, la maduración, la conservación y las condiciones higiénico-sanitarias (Santos et al., 2021). La calidad de la carne es valorada por los consumidores tanto en el momento de la compra como durante su consumo, teniendo en cuenta diferentes factores. En el momento de la compra perciben principalmente el color de la carne, la frescura y la grasa visible, mientras que durante el consumo, el sabor, la ternura y la vida útil tornan a ser los principales atributos de calidad para los consumidores (Santos et al., 2021).

Existen escasos estudios que evalúen el efecto de la inclusión de esparceta en dietas de ganado vacuno sobre la calidad de sus productos, por lo que se va a evaluar en este estudio su inclusión sobre parámetros de calidad de carne de vacuno, tales como el pH, composición química, color, dureza y oxidación lipídica.

1.4.1. pH

El pH final de la carne de vacuno determina su calidad sensorial, y está relacionado con la capacidad para almacenar glucógeno en los músculos y la cantidad de mitocondrias en las fibras musculares (Picard y Gagaoua, 2020). Las variaciones de pH pueden deberse a factores como el estrés previo al sacrificio, la dieta, el ejercicio y las condiciones de procesamiento, todo lo cual afecta a la calidad final de la carne principalmente en términos de color, dureza y sabor (Patinho et al., 2024). El sacrificio conlleva una serie de procedimientos estresantes para los animales, que comienzan en la granja y finalizan con la muerte del animal. Estos pueden implicar la privación de alimento, la mezcla de animales, el transporte a mataderos, así como su estabulación previa al sacrificio (Terlouw et al., 2021). El aumento de la actividad física y el estrés generado exigen energía y pueden consumir las reservas de glucógeno en los músculos. Dado que el glucógeno muscular impulsa gran parte de la disminución del pH *postmortem*, puede

provocar un pH final más elevado de lo normal y traer consigo en casos más extremos la generación de carnes DFD (Oscura – Firme – Seca, por sus siglas en inglés). Estas carnes se caracterizan por tener pH superiores a 6, a diferencia de la carne normal fresca cuyo pH ronda entre 5,5 y 5,7 (Wicks et al., 2019; Terlouw et al., 2021).

Paralelamente, aunque no se conoce de manera exacta el papel que desempeñan las mitocondrias *postmortem*, sí se sabe que pueden afectar a la disminución del pH y, en consecuencia, también a los atributos de calidad de la carne (Wicks et al., 2019).

Respecto al efecto de la dieta sobre el pH, diversos autores han observado efectos, aunque también hay un gran número de ellos que no hallaron diferencias entre distintas dietas suministradas a los animales. Apaoblaza et al. (2020) y del Campo et al. (2008) comprobaron que dietas a base de cereales en ganado vacuno daban como resultado carnes con pH más bajo que las procedentes de animales alimentados con pasto. Sin embargo, Moran et al. (2017) no encontraron diferencias en el pH de carne de terneros terminados con concentrado *ad libitum* con periodo previo de preengorde en pasto, frente a los finalizados de la misma manera y sin ese periodo previo de preengorde en pasto. Blanco et al. (2010) también encontraron pH similar en la carne procedente de animales pastando alfalfa que los animales alimentados con pienso. Del mismo modo, Madruga et al. (2019) tampoco encontraron diferencias en el pH de carne de vacuno alimentados con ración mixta junto a paja de cebada, frente a animales alimentados con ración mixta con la adición de un 19% de alfalfa.

Por otro lado, teniendo en cuenta que la esparceta es una leguminosa con contenido medio-alto en proantocianidinas, Orzuna-Orzuna et al. (2021) estudiaron la inclusión de estos componentes en dietas de ganado ovino, no observándose efectos significativos de su inclusión sobre el pH de la carne. Baila et al. (2022a) tampoco encontraron efecto de las proantocianidinas de la esparceta aportadas a las ovejas sobre el pH de carne de corderos lechales.

1.4.2. Composición química

Los componentes químicos más importantes de la carne son el agua, las proteínas, la grasa y los minerales. El tejido muscular contiene alrededor de un 19% de proteínas, siendo la mayor parte de ellas proteínas estructurales (miofibrilares), seguidas de proteínas sarcoplasmáticas solubles y tejido conectivo (Pighin et al., 2016). Además, el tejido conectivo está relacionado con la “dureza de base” de la carne y comprende las fibras de colágeno y la elastina, siendo la primera de ellas la más abundante del tejido conectivo. Por ello, la concentración, las propiedades y la arquitectura del colágeno juegan un papel fundamental en la textura de la carne cruda (Li et al., 2022). Scollan et al. (2006) afirmaron en una revisión que la nutrición influye poco sobre el

contenido de proteínas y el perfil de aminoácidos de la carne de vacuno. Estudios posteriores confirmaron dicha afirmación, siendo el contenido de proteínas de carne similar entre animales alimentados con pasto/forraje con el de animales alimentados a base de granos (Duckett et al., 2009; 2013) o cuando se sustituyó la paja por heno de alfalfa (Madruga et al., 2019).

Por otra parte, el contenido de la grasa intramuscular varía en función del régimen de alimentación, de la raza, de la edad a la que el animal se sacrifica y del músculo (Van Elswyk y McNeill, 2014). En cuanto al efecto de la alimentación, la deposición de grasa depende del consumo de energía. La alimentación del ganado con cereales maximiza la disponibilidad de energía neta y glucosa para la síntesis de grasa, y unido a que el crecimiento muscular disminuye con la edad, se contribuye así a una mayor proporción de grasa que la que puede lograrse mediante la alimentación o el acabado a base de pasto (Scollan et al., 2006). De manera similar, Duckett et al. (2013) encontraron un menor contenido total de lípidos en carne de vacuno procedente de animales alimentados con forraje frente a la carne de animales cuyas dietas se basaban en concentrados. De manera similar, Blanco et al. (2010) observaron que la carne de terneros que pastaron alfalfa presentaba menor deposición de grasa intramuscular que los terneros acabados con concentrados. Sin embargo, hay estudios en los que se ha observado que el régimen de alimentación no trae consigo diferencias en la composición química de la carne. Madruga et al. (2019) no encontrando diferencias en materia seca, colágeno, grasa intramuscular y colesterol entre terneros alimentados con concentrados frente a otros a los que se les había añadido heno de alfalfa en sus dietas. Duckett et al. (2013) encontraron similar contenido de humedad, cenizas y colesterol en la carne procedentes de terneros alimentados con concentrados y aquellos alimentados con especies forrajeras. Estas discrepancias entre los resultados de distintos estudios pueden deberse a la edad de los animales, su sexo, la raza, su precocidad o al tiempo que estén recibiendo un determinado tipo de alimentación (Arshad et al., 2018; Park et al., 2018).

Por otro lado, aunque el presente estudio no tenga como objetivo abordar el efecto que la dieta tiene sobre la calidad de la grasa de la carne, cabe destacar que este parámetro varía en función del tipo de alimentación que reciban los animales. Así, la inclusión de forrajes en las dietas animales ha sido comúnmente estudiada para, entre otros aspectos, mejorar el perfil de ácidos grasos de la carne (Moorby y Fraser, 2021; Santos-Silva et al., 2023) ya que son ricos en ácidos grasos poliinsaturados omega-3 y de cadena larga (Griinari et al., 1998), todos ellos beneficiosos desde el punto de vista de la salud humana. Baila et al. (2023) comprobaron que conforme se aumentaba el porcentaje de esparceta en las dietas de corderos se veían incrementados los ácidos grasos omega-3.

1.4.3. Color

La mayoría de los consumidores de vacuno españoles prefieren que la carne tenga un color rojo brillante, como indicador de calidad y frescura. El color viene determinado por el estado químico de la mioglobina, proteína cuya función principal en tejidos vivos es transportar oxígeno a las mitocondrias, orgánulos celulares responsables de la respiración y la síntesis de ATP, aunque la estructura física de la carne también influye en la luminosidad. Tras el sacrificio de los animales, se producen cambios fisiológicos en los músculos, dando como resultado alteraciones estructurales en la mioglobina, que puede convertirse en uno de sus tres estados de oxidación (Mancini y Ramanathan, 2014). Estos estados de oxidación dependen del ligando que se une a la mioglobina, así como del estado redox del hierro hemo. De esta manera puede formarse desoximioglobina (color rojo violáceo, hierro ferroso y sin ligando unido), oximioglobina (color rojo, hierro ferroso y oxígeno adherido) y metamioglobina (color marrón opaco, hierro férrico y agua adherido) (Mancini y Ramanathan, 2014).

La oxidación/reducción de la mioglobina está dictada por las cantidades de oxígeno, la disponibilidad de antioxidantes y la actividad enzimática. Estos cambios oxidativos que afectan al color de la carne se cuantifican utilizando tres coordenadas lineales (Hernández et al., 2019):

- a) Luminosidad (L^*): Oscila entre el valor 0 para el negro y 100 para el blanco.
- b) Índice de rojo (a^*): Oscila desde el verde si es negativo al rojo si es positivo.
- c) Índice de amarillo (b^*): Oscila desde el azul si es negativo al amarillo si es positivo.

A partir de a^* y b^* se calcula el tono, que define el color verdadero, y la saturación, que describe el grado de viveza o intensidad de un tono determinado.

Por otro lado, la intensidad del color de la carne fresca está influenciada por factores intrínsecos y extrínsecos (Poveda-Arteaga et al., 2023). Entre estos últimos destacan la edad y sexo del animal, así como la alimentación.

Atendiendo a este último factor, la composición de la dieta puede influir en el color de la carne fresca, debido entre otros aspectos al tipo de fibra predominante, a la cantidad de energía ingerida y a la deposición de grasa inter e intramuscular (Poveda-Arteaga et al., 2023). En general, los animales en intensivo producen carnes más brillantes (valores L^* más altos) que los animales en extensivo, debido a su mayor ingestión de calorías que promueven el metabolismo glucolítico, así como el aumento de la grasa (Gómez et al., 2021).

Numerosos científicos han estudiado el efecto que la dieta tiene sobre el color de la carne. Algunos de ellos han observado colores más oscuros de carne de terneros terminados con

forraje frente a los finalizados a base de concentrados (Priolo et al., 2002; Duckett et al., 2013; Dunne et al., 2006). Sin embargo, son otros muchos los que no han encontrado efectos de la dieta sobre los parámetros de color de la carne de vacuno comparando dietas como raciones mixtas con paja de cebada frente a raciones mixtas con heno de alfalfa (Madruga et al., 2019), pasto frente heno concentrado durante la etapa de engorde (Acciario et al., 2020) o dietas convencionales a base de cereales frente a dietas ricas en fibra con alto porcentaje de heno de alfalfa (Santos-Silva et al., 2020). De la misma manera, Blanco et al. (2010) compararon carne de vacuno procedente de animales alimentados a base de pastos de alfalfa frente a animales acabados con concentrados, y observaron que ambos grupos presentaban color similar. En este caso, la ausencia de efecto de la alimentación sobre el color de la carne lo relacionaron con las similares velocidades de enfriamiento de las canales, aspecto que afecta al color de la carne, ya que los pesos y engrasamiento de las mismas eran muy parecidos (Yang et al., 2002). Además, la cantidad de mioglobina aumenta con la edad (Renerre, 1986), por lo que sacrificar a todos los animales a la misma edad también pudo influir en que los parámetros de color no difirieran entre dietas.

Por otro lado, también se ha estudiado el efecto que la inclusión de proantocianidinas en la dieta de rumiantes tiene sobre el color de la carne. Estos componentes se relacionan con un retraso en la formación de metamioglobina, lo que conduce a un aumento en la estabilidad del color (Luciano et al., 2011) y que podría contribuir también a una mayor vida útil del producto y a una mayor aceptabilidad por parte de los consumidores. Varios estudios han encontrado carne de color más claro en corderos alimentados con proantocianidinas frente a dietas control, o con la misma dieta añadiendo un bloqueador de proantocianidinas (Priolo et al., 2002, 2005). Sin embargo, existen numerosos estudios en los que se observa que las proantocianidinas no se encuentran claramente relacionados con una mejora en el color de la carne de cordero, por lo que este efecto no es generalizado (Álvarez et al., 2020; Lobón et al., 2017b).

Además, también ha sido objeto de investigación la influencia que la dieta tiene sobre la evolución del color de la carne con el tiempo de almacenamiento, ya que este varía con los días de exposición al oxígeno debido a la oxidación del hierro de la mioglobina (Bekhit et al., 2019). Legako et al. (2018) observaron un aumento general de L^* con el tiempo de exposición de la carne al oxígeno. Durante este tiempo, la carne de animales alimentados a base de grano tuvo los valores más elevados de L^* , seguidos de los alimentados con leguminosas, siendo la carne procedente de animales alimentados con pastos de gramíneas los que poseían menores valores durante todo el periodo de exposición. Si bien es cierto que en dicho estudio el valor de L^* resultó ser igual para los alimentados con grano que para los alimentados con leguminosas en

el día 5 de exposición al oxígeno. Por otro lado, a^* se redujo durante todo el periodo de exposición. En el momento del corte mostraron valores superiores de a^* las carnes procedentes de dietas basadas en leguminosas y las de pasto gramíneo que las de grano. Sin embargo, el día 6 de exposición, el índice de rojo (a^*) de la carne procedente de animales alimentados con leguminosas y granos fueron similares y menores que las procedentes de animales alimentados a base de pasto de gramíneas. La disminución del índice de rojo con el tiempo de exposición de la carne al oxígeno también fue encontrada por Fruet et al. (2018). En este caso, la carne procedente de terneros alimentados con pasto y los alimentados con pasto y grano tuvieron mayor a^* que la carne de terneros cuya dieta se basaba sólo en grano durante el décimo y decimotercer día de almacenamiento. Además, encontraron disminuciones de b^* a medida que pasaban los días de exposición de la carne al oxígeno, presentando mayores valores la carne procedente de los alimentados con pasto de leguminosas.

Además, respecto al efecto de la inclusión de leguminosas ricas en proantocianidinas en la alimentación de los animales, Lobón et al. (2017a) encontraron que los corderos que pastaron en esparceta durante la lactación con sus madres presentaron similar color a los corderos que lo hicieron en alfalfa, y mayor a^* pero menor L^* y b^* que los alojados con sus madres alimentadas con una mezcla seca. En dicho estudio, la inclusión de 5% de quebracho (*Schinopsis lorentzii*), otra fuente de proantocianidinas, en el pienso de corderos no tuvo efecto relevante sobre los parámetros del color de la carne. En un estudio en el que se alimentó a las ovejas con un pienso con 0% o 10% de quebracho, Lobón et al. (2017b) encontraron que la carne de corderos lechales de las madres que lo habían ingerido poseía mayores L^* , b^* y tono a los 7 y 9 días de exposición al oxígeno.

1.4.4. Dureza

La textura es una característica sensorial clave de la carne de vacuno y ofrece sensaciones en boca durante el consumo, tales como la terneza/dureza, jugosidad y masticabilidad (Zhu et al., 2021). A su vez, la dureza es uno de los atributos sensoriales más importantes de la carne, y se puede definir como la facilidad para cortarla (Santos et al., 2021). Según varios estudios, corresponde con la principal característica de textura que influye en la intención de compra, y el consumidor está dispuesto a pagar un precio más alto por carne que tiene garantizada su terneza (Warner et al., 2022). Es por todo ello que la dureza de la carne puede considerarse un factor limitante para la aceptabilidad del consumidor (Ricardo-Rodrigues et al., 2024).

Los principales factores de los que depende la dureza de la carne son el tejido conectivo que presenta, la integridad de las miofibrillas, la longitud de los sarcómeros, la desnaturalización de

las proteínas y la cantidad de grasa intramuscular (Warner et al., 2022). El colágeno, principal constituyente del tejido conectivo, no presenta modificaciones *postmortem*, por lo que su resistencia mecánica se considera constante y se asocia a la denominada “dureza de base” de la carne. Sin embargo, la resistencia de las miofibrillas, y más concretamente las proteínas miofibrilares, no es constante en el periodo *postmortem*, distinguiéndose tres periodos. El primero de ellos, anterior al *rigor mortis*, se denomina estado pre-rigor, y en él la estructura muscular se encuentra relajada. Le sigue el *rigor mortis*, que alcanza su máximo 1 o 2 días tras la muerte del animal y los músculos se encuentran irreversiblemente bloqueados en estado de tensión (Warner et al., 2010). Finalmente se produce una disminución de la resistencia mecánica de la carne fruto de un debilitamiento en la estructura miofibrilar. Esto se explica a su vez por la proteólisis parcial de proteínas clave implicadas en la estructura de las miofibrillas. En este proceso participan varias enzimas proteolíticas endógenas, entre las que destacan las calpaínas y la calpastatina (Ouali et al., 2006). Así pues, la dureza disminuye durante la maduración.

La alimentación del ganado vacuno puede influir de manera distinta en la dureza de la carne dependiendo del tiempo de maduración de esta. Iguácel et al. (2019) comprobaron como la carne de animales cebados con concentrados resultaba tener la misma dureza que la de animales alimentados a base de pasto cuando el periodo de maduración era corto. Sin embargo, la dureza disminuía conforme pasaban los días de maduración, y la evolución entre los animales alimentados con concentrado frente a los alimentados con pasto era diferente. Mientras que los alimentados con pasto mantenían la primera semana una dureza más estable, la disminución de la dureza en los alimentados a base de concentrado era más pronunciada. Pasada la segunda semana, ambos disminuían de manera similar pero siempre mostrando menores valores de dureza los alimentados con concentrado.

Este hecho se relaciona con que las dietas con mayor energía, basadas en cereales, aumentan el contenido de grasa de la carne, disminuyendo su dureza (Hwang y Joo, 2017). Además, puede deberse a otros aspectos tales como a las diferencias en la deposición de colágeno o a diferencias en las ganancias de peso (Muir, Deaker y Bown, 1998).

1.4.5. Oxidación lipídica

La oxidación de los lípidos es la principal causa no microbiana del deterioro de la calidad de la carne (Min y Ahn, 2005). Dicha degradación comienza con el sacrificio del animal y continúa progresivamente hasta que se consume el producto final (Chaijan y Panpipat, 2017). Las reacciones de oxidación reducen el valor nutricional de la carne por la pérdida de ácidos grasos esenciales y vitaminas. Generalmente, el primer cambio observado resulta en una reducción

gradual de la calidad sensorial, provocando cambios en el color, la textura, el olor y el sabor (Amaral et al., 2018).

Durante el proceso de oxidación lipídica, los ácidos grasos insaturados reaccionan con el oxígeno, generando radicales libres y formando hidroperóxidos, considerados como los primeros productos de oxidación. Los hidroperóxidos son inodoros, sin embargo, su elevada inestabilidad hace que se descompongan, dando lugar a un gran número de compuestos secundarios como hidrocarburos, aldehídos, cetonas, alcoholes, ésteres y ácidos (Ross y Smith, 2006), que sí provocan la aparición de sabores a rancio y olores desagradables en la carne. Todo ello condiciona la vida útil de la carne, determinada por el momento en el que el consumidor es capaz de detectar los productos de oxidación que generan la rancidez u observar cambios en el color de la carne (Barden y Decker, 2016).

La estabilidad oxidativa de la carne depende del equilibrio entre componentes oxidantes y compuestos antioxidantes. Entre los primeros destacan los ácidos grasos poliinsaturados, mientras que los compuestos antioxidantes comprenden tanto sistemas de defensa endógenos, como antioxidantes proporcionados por las dietas animales, entre los que se encuentran las proantocianidinas y algunas vitaminas (Luciano et al., 2019; Li et al., 2024).

Por ello, la principal estrategia utilizada por la industria cárnica para inhibir la oxidación lipídica es la adición de antioxidantes a la carne (Domínguez et al., 2019), en el caso de productos cárnicos. Sin embargo, hoy en día los consumidores exigen productos más naturales, limitando a la industria en el uso de antioxidantes sintéticos. Además, los consumidores son cada vez más conscientes de los efectos nocivos para la salud de una gran cantidad de grasas y ácidos grasos saturados en la carne, por lo que existe un interés creciente en el desarrollo de nuevos productos con un concepto de salud como productos con “alto contenido en ácidos grasos poliinsaturados” (Domínguez et al., 2019).

El tocoferol o vitamina E es un antioxidante que no se degrada en el rumen, si no que se acumula dentro de las bicapas lipídicas de la membrana celular, lo que aumenta el potencial antioxidante y la estabilidad oxidativa de la carne (Bekhit et al., 2013). Los metales como el hierro, ya sea en forma de proteínas hemo o en forma libre, son catalizadores de procesos y etapas de la oxidación lipídica (Guyon, Meynier y Lamballerie, 2016). Por el contrario, la capacidad antioxidante de compuestos como las proantocianidinas se atribuyen a la eliminación de radicales libres, quelación de metales redox activos e inactivación de hemoproteínas (Álvarez-Rodríguez et al., 2022). Así, Luciano et al. (2019) encontraron que alimentar a corderos a base de ensilados de trébol rojo y esparceta, con contenidos considerables de proantocianidinas,

afectaba al equilibrio entre antioxidantes y prooxidantes de la carne, reduciendo la oxidación lipídica de la misma.

Diversos científicos han estudiado el efecto que tienen sobre la oxidación lipídica los distintos tipos de alimentación en rumiantes. Fruet et al. (2018) comprobaron que la oxidación lipídica fue significativamente mayor en carne de vacuno alimentados únicamente con grano en comparación con carne de animales terminados a base de pasto de leguminosas con o sin suplemento de grano. Resultados similares obtuvieron Legako et al. (2018), quienes encontraron los mayores valores de oxidación lipídica en los animales alimentados con grano, seguidos de los alimentados con pastos de gramíneas y finalmente los pastados en leguminosas. Además, el efecto de las leguminosas puede diferir de unas a otras. De esta manera, Lobón et al. (2017a) encontraron que la oxidación lipídica era menor en corderos alimentados con sus madres en esparceta durante la lactación frente a los alimentados con sus madres en pastoreo de alfalfa o en base una mezcla seca compuesta por paja y concentrado.

Además, la oxidación lipídica en la carne evoluciona con el tiempo de almacenamiento. De esta manera, Li et al. (2024) comprobaron que la oxidación lipídica en carne de cordero se incrementó entre los 0 y 6 días de almacenamiento, independientemente de si estos animales ingerían pasto de esparceta o ración mixta granulada, aunque la oxidación lipídica fue mayor en los corderos que consumían ración mixta, mientras que el valor de los alimentados con esparceta tendía a ser estable. De manera similar, Baila et al. (2022b) estudiaron el efecto de la inclusión de distintos porcentajes de esparceta (0%, 20%, 40%) en la alimentación de corderos sobre la oxidación lipídica durante 12 días de exposición. En dicho estudio, se comprobó que en el día 9 la oxidación lipídica era menor en los corderos cuya dieta había sido suplementada con 20% esparceta frente al control (0%), mientras que en el día 12 ambos tratamientos con esparceta poseían menores resultados de oxidación lipídica que el control, mejorando la adición de esparceta la vida útil de la carne. Lobón et al. (2017a) comprobaron que la oxidación lipídica de la carne de cordero se vio afectada por la interacción entre el sistema de alimentación de la madre (concentrado, esparceta, alfalfa) durante la lactancia y el tiempo de exposición. La oxidación lipídica no difirió hasta que a partir del séptimo día comenzaron a verse mayores valores en los corderos de madres alimentadas con concentrado, intermedia para los procedentes de madres alimentadas con alfalfa y menor para los de las alimentadas con esparceta. Esta misma tónica se vio entre los días 7 y 12 de exposición. Por lo tanto, el elevado contenido en vitamina E y proantocianidinas en la esparceta podría explicar la menor oxidación lipídica observada en los corderos del grupo de la esparceta (Lobón et al., 2017a). Lobón et al. (2017b) evaluaron el efecto del tipo de forraje (pasto vs heno) de ovejas lactantes sobre la

calidad de la carne de corderos lechales. En dicho estudio, la oxidación lipídica aumentó linealmente con el tiempo de almacenamiento, alcanzando el umbral de 1 mg de MDA/kg el día 7 de almacenamiento en corderos cuyas madres eran alimentadas con heno, frente a los 9 días de los alimentados con pasto. La oxidación de los lípidos en dicho estudio se correlacionó negativamente con el contenido de vitamina E en el músculo, aumentando el nivel de significación con el tiempo de almacenamiento.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es evaluar la calidad de la canal y carne de terneros alimentados con distintos formatos de esparceta. Para ello se han planteado los siguientes objetivos parciales:

- Estudiar la inclusión de pélet de esparceta en el pienso de cebo de terneros sobre la calidad de la canal y carne de vacuno.
- Estudiar la inclusión de heno de esparceta en la dieta de cebo de terneros sobre la calidad de la canal y la carne de vacuno.
- Estudiar la variación a lo largo del tiempo de los parámetros de calidad de la carne ligados a su vida útil.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

Este Trabajo Fin de Grado se ha realizado en las instalaciones del Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA) situadas en Montañana (Zaragoza). La formulación y elaboración de los piensos, así como el cebo de los terneros se realizó en la granja experimental de la cooperativa de IVARS en Montsua (Lérida). Los animales fueron sacrificados en el matadero comercial Fribin situado en Binéfar (Huesca). Posteriormente, en los laboratorios del CITA se realizaron los muestreos y los correspondientes análisis de calidad de la carne.

Los procedimientos realizados a los animales han sido aprobados por el comité de experimentación animal del CITA (Ref 2021-11), ya que cumplen los principios éticos requeridos de protección de los animales utilizados para experimentación (Real Decreto (CE) nº 53/2013).

3.1. Animales y dietas

En el ensayo se alimentaron 40 terneros machos de raza Montbéliarde durante 28 semanas (desde los 150 a los 346 días) con cuatro dietas diferentes. Los terneros se distribuyeron aleatoriamente en cuatro lotes equilibrados según su peso vivo inicial.



Fotografía 2. Terneros de estudio en la granja experimental de la Cooperativa de IVARS en Montsua (Lérida)

Para incorporar la esparceta al pienso hubo que peletizarla previamente. Para ello, se secó unos segundos por contacto indirecto con aire caliente (300-400°C), quedando a unos 70°C a la salida. A continuación, el forraje se dejó enfriar, se trituró, molió y granuló mediante presión mecánica a través de un tamiz a 60-70°C.



Fotografía 3. Heno y pélets de esparceta

Se formularon dos piensos de crecimiento y acabado de terneros similares en energía (1,02 UFC/kg): comercial y con esparceta. La Tabla 1 muestra los ingredientes de ambos piensos y su composición química, además de la composición química de la paja y el heno de esparceta.

Tabla 1. Ingredientes y composición química de los alimentos

	Pienseo comercial	Pienseo con esparceta	Paja	Heno de esparceta
Ingredientes, %				
Maíz	59,93	60,63		
Esparceta granulada	-	15,00		
Trigo	5,00	5,00		
Cebada	-	4,45		
Pulpa remolacha	3,00	3,00		
Colza	5,00	3,00		
Cuertas	16,00	2,41		
Grasa	1,76	1,88		
Melaza de caña de azúcar	2,00	1,50		
Soja 47,5%	4,62	1,34		
Minerales y vitaminas	2,69	1,79		
Composición química				
Materia seca (MS), %	88,00	89,00	91,00	90,0
Fibra neutro detergente, %MS	16,00	19,00	75,60	42,50
Fibra ácido detergente, %MS	4,80	6,90	44,00	29,30
Proteína bruta, %MS	13,60	11,40	3,80	13,30

La mitad de los terneros recibió pienso comercial y la otra mitad pienso con 15% de esparceta a voluntad. De cada lote de alimentación de pienso, la mitad recibió paja y la otra mitad heno de esparceta a voluntad, quedándose las dietas finales tal y como se muestra en Figura 2.

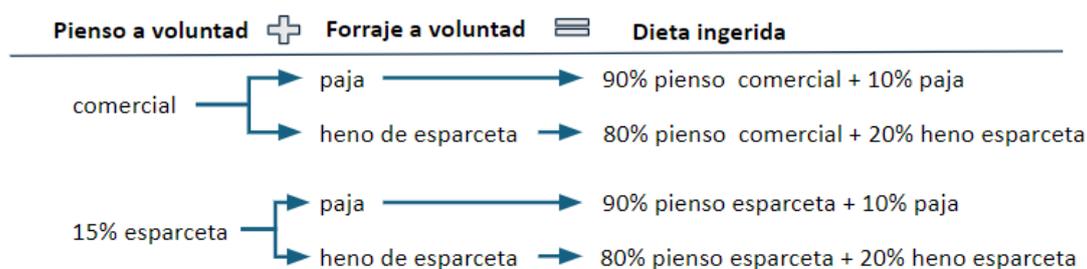


Figura 2. Dietas ofrecidas a los grupos de animales

En la Tabla 2 se muestra la ingestión de pienso y de forraje para cada tipo de dieta.

Tabla 2. Ingestión diaria de pienso y forraje durante la fase de crecimiento (semana 0 a 15), acabado (semana 16 a 28) y global (semana 0 a 28) según la dieta recibida

	Pienso + paja	Pienso + heno	Pienso ESP² + paja	Pienso ESP² + heno
Fase crecimiento				
Pienso, kg MF ¹ /d	6,5	5,8	6,3	5,7
Forraje, kg MF ¹ /d	0,6	1,4	0,5	1,4
Total, kg MF ¹ /d	7,1	7,2	6,8	7,1
Fase acabado				
Pienso, kg MF ¹ /d	9,1	7,6	8,4	8,2
Forraje, kg MF ¹ /d	1,1	2,0	1,0	2,1
Total, kg MF ¹ /d	10,2	9,6	9,4	10,3
Global				
Pienso, kg MF ¹ /d	7,7	6,6	7,3	6,9
Forraje, kg MF ¹ /d	0,8	1,7	0,8	1,7
Total, kg MF ¹ /d	8,5	8,3	8,0	8,6

¹Materia fresca; ²Pienso con 15% de granulado de esparceta

Finalmente, en la semana 28, los terneros se transportaron durante una hora al matadero comercial para su sacrificio. El sacrificio y el faenado de las canales se realizaron siguiendo la metodología habitual del matadero.

3.2. Procesado de las canales y medidas de la canal.

Los animales se introdujeron individualmente en el cajón para su posterior aturdimiento con bala cautiva. Posteriormente, se separó la cabeza y se procedió al desangrado, desollado, eviscerado y separación de las dos medias canales realizando un corte longitudinal por la zona vertebral de la canal. La presentación de las canales correspondió al tipo IIB (Real Decreto (CE) nº 145/2021), es decir, la canal se presenta sin retirar la grasa superficial, y sin cabeza ni patas; la cabeza se separó de la canal por la articulación atloide-occipital; las patas se cortaron por las articulaciones carpo metacarpianas o tarso metatarsianas; sin los órganos contenidos en las cavidades torácica y abdominal, sin los riñones, la grasa de riñonada así como la grasa pélvica, sin los órganos sexuales con los músculos unidos, sin la ubre ni grasa mamaria, sin médula espinal, sin grasa de los testículos ni de la cara interna de la pierna, ni vena yugular y grasa adyacente. Sí incluye el rabo y el diafragma, y no se realizó pulido por tener un engrasamiento menor de 3.

Las canales se pesaron y permanecieron en refrigeración durante 48 horas. A partir de los datos de peso vivo del animal y de peso de la canal en caliente tras el sacrificio se calculó el rendimiento a la canal de cada animal. Además, se realizó la clasificación e inspección oficial de

las canales. La clasificación por conformación y engrasamiento se realizó de acuerdo con el Modelo Comunitario de canales de bovinos pesados (Reglamento (UE) nº 1308/2013) realizando la valoración de conformación en la escala SEUROP y de engrasamiento. Para el análisis estadístico, los datos de conformación se transformaron a una escala continua de 1 a 18 puntos, y los de engrasamiento de 1 a 15 puntos, tras subdividir en tres subclases cada una de las clases establecidas.

3.3. Muestreo y parámetros de calidad de la carne

Tras las 48 horas de oreo a 4 °C, se cortó entre la 5ª y 10ª vértebra torácica de cada media canal izquierda para extraer el músculo *longissimus thoracis* (LT). De dicho músculo, y comenzando desde la parte craneal del músculo, se obtuvieron muestras para llevar a cabo los distintos análisis de calidad de la carne.

- Una muestra de al menos 200 gramos para la determinación de la composición química (materia seca, grasa bruta, proteína bruta, cenizas y colágeno total). Las muestras se envasaron al vacío y se mantuvieron a -20 °C hasta su análisis.
- Un filete de al menos 3,5 cm de espesor para la determinación del color y oxidación lipídica del músculo en distintos tiempos de exposición al oxígeno. Cada filete se dividió en tres y las muestras se colocaron aleatoriamente en bandejas de poliestireno extendido cubiertas con un film plástico permeable al oxígeno permaneciendo en oscuridad a 4 °C durante distintos días. Tras la medición del color a las 2 horas (día 0), 1, 4, 7 y 11 días de exposición al oxígeno se conservaron a -20 °C para la determinación de la oxidación lipídica en las muestras maduradas durante 4, 7 y 11 días.
- Tres filetes de unos 3 cm de espesor para la determinación de la dureza tras diferentes tiempos de maduración. Las muestras se envasaron al vacío y se maduraron en oscuridad a 4°C durante 2 días, 7 días y 14 días *postmortem*. Pasados estos tiempos, se conservaron a -20°C hasta su análisis.

3.3.1. pH

El pH se midió a la altura de la quinta vértebra torácica del LT a las 48 horas del sacrificio haciendo uso de un pH-metro CRISON 507 con un electrodo de penetración XS 2 PORE F (HACH LANGE Spain, S.L.U., Barcelona, España), como medida que determina el posible estrés de los animales.



Fotografía 4. Determinación de pH del músculo LT.

3.3.2. Composición química

La determinación de la composición química se realizó mediante espectroscopía en el infrarrojo cercano siguiendo el método AOAC 2007.04 para carne y productos cárnicos (Anderson, 2007). En primer lugar, se eliminó la grasa subcutánea e intermuscular que recubría el músculo, se troceó y se homogeneizó haciendo uso de una picadora (Moulinex 1,2,3 Ultimate 1000W, Groupe SEB, Alençon, Francia). Posteriormente, se colocó en una cubeta circular de cuarzo de 13,8 mm de altura (paso óptico) y 13,4 cm de diámetro la cual contaba con una capacidad de \approx 200 gramos y se compactó. La muestra se analizó en el espectrómetro de infrarrojo cercano FoodScan 2 Lab (FOSS IBERIA, S.A., Barcelona, España). Se obtuvieron los siguientes parámetros: materia seca, grasa bruta, proteína bruta, cenizas y colágeno total en porcentaje expresado sobre materia fresca.



Fotografía 5. Determinación composición química con espectrómetro de infrarrojo cercano

3.3.3. Color

Una vez cumplido el tiempo de exposición de cada muestra, se retiró el film plástico y se midió el color haciendo uso de un espectrofotocolorímetro Minolta CM-600d (Konica Minolta Holdings, Inc., Osaka, Japón) con una apertura de 8 mm de diámetro. Dicho instrumento incluía un componente especular y un 0% de iluminación UV, iluminante estándar D65 que simula la luz del día (temperatura de color 6504 K), un ángulo de observador de 10° y calibración con la placa de blanco. Se registró el espectro de reflectancia en porcentaje desde los 360 nm a 740 nm cada

10 nm. Además, se registraron la luminosidad (L^*), el índice de rojo (a^*) y el índice de amarillo (b^*), a partir de los cuales se calcularon:

- el tono ($h_{ab} = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \cdot \frac{180^\circ}{\pi}$)
- la saturación ($C_{ab}^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$)

3.3.4. Dureza y fuerza máxima

El análisis de la dureza se llevó a cabo mediante el método Warner-Bratzler siguiendo la metodología descrita por Ripoll et al. (2013). Para ello se empleó una máquina Instron (Modelo 5543, INSTRON Ltd., Reino Unido) con software Bluehill3 y a la que se le acopló la célula Warner-Bratzler en forma de “V” invertida.



Fotografía 6. Máquina Instron para la realización del método Warner-Bratzler.

Las muestras se descongelaron a temperatura ambiente y se introdujeron en un baño termostático con agua a 75 °C. La temperatura interna de las muestras se controló con sondas termopar tipo T (Instrumentos Testo S.A., Cabriels, España) de 60 mm de longitud y 1,4 mm de diámetro. La cocción finalizó cuando el centro de la muestra alcanzó los 70 °C. Las muestras se extrajeron del baño termostático y se dejaron enfriar hasta el día siguiente a temperatura ambiente.

Tras 24 horas, se calibró el aparato Instron. Cada muestra se cortó en submuestras con forma de paralelepípedos de aproximadamente 1 cm² de sección y unos 3 cm de largo en dirección de las fibras musculares, medidas con un micrómetro manual. Tras el corte de la muestra se procedió a su cizallamiento con la célula Warner-Bratzler. Para cada muestra se realizaron entre 10 y 12 repeticiones. Se obtuvieron valores de esfuerzo máximo (N/cm²), que refleja la fuerza máxima realizada para cizallar la muestra por unidad de superficie a cortar, así como la dureza (N/cm²), que corresponde con la energía (N*cm) necesaria para cizallar una muestra por unidad de volumen debajo de la cizalla (cm³).

3.3.5. Oxidación lipídica

Para la determinación de la oxidación lipídica se ha utilizado el método de las sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBA). El fundamento de este método se basa en que el TBA reacciona con el malondialdehído (MDA), compuesto que proviene de la degradación oxidativa de los ácidos grasos, especialmente del ácido linolénico. El método seguido fue el de Pfalzgraf et al. (1995), detallado en Ripoll et al. (2013). Cada día de análisis se realizó una recta patrón.

Preparación de la recta patrón. Para la recta patrón se prepararon 8 tubos con 5 ml de TBA, 5 ml de agua destilada y concentraciones crecientes de tetrametoxipropano (TMP), precursor de MDA, añadiendo 0, 10, 20, 30, 40, 60, 80 y 100 μ l de TMP. Los tubos se mantuvieron en un baño termostático a 100 °C durante 35 minutos, se extrajeron del agua y se dejaron enfriar en agua fría durante 15 minutos, y se procedió a su lectura a 532 nm en el espectrofotómetro Helios Beta (Thermo Electron Corporation, España). Con los datos obtenidos, se realizó la curva de calibrado, considerándose que la curva era correcta cuando la R^2 era superior a 0,999.



Fotografía 7. Recta patrón para la determinación de la oxidación lipídica.

Preparación de las muestras. Las muestras se descongelaron en agua corriente, aproximadamente en 15 minutos. Una vez descongeladas, se retiró el tejido conectivo y la grasa intermuscular de las muestras. Posteriormente, se mezclaron 10 g de carne picada y 20 ml de tricloroacético y se homogeneizaron con un homogeneizador Micra D8 (Labolan, España) a 11.000 rpm (1.350 g) durante aproximadamente 60 segundos. Las mezclas se congelaron durante 10 minutos para que se produjese la precipitación de las proteínas que pudieran interferir en el análisis, y seguidamente se centrifugaron a 4.000 rpm (1.500 g) durante 15 minutos a 4°C. Seguidamente, se filtraron con papel de filtro (d:150mm FilterLab 1300/80). De cada muestra, se mezclaron 2 ml de filtrado y 2 ml de TBA y se preparó un blanco mezclando 2 ml de TBA y 2 ml de agua destilada. Se incubaron en el baño termostático a 97 °C durante 20 minutos y se dejaron enfriar durante 15 minutos en agua fría hasta su posterior lectura en el espectrofotómetro.

Para el cálculo de la oxidación lipídica, se multiplicó la absorbancia de la muestra por 2,96 y se dividió por la pendiente de la recta de calibración dividida por 10.000. La oxidación lipídica de las muestras se expresó como mg de MDA/kg de carne fresca.

3.4. Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se realizaron usando R v.3.6.3 (R Development Core Team) y las librerías *lm* y *lm4* (Bates et al., 2015). El análisis estadístico del peso vivo, peso de la canal, conformación, engrasamiento, pH y composición química de la carne se realizó con un modelo lineal con la dieta como efecto fijo. El análisis estadístico del color, la oxidación lipídica y la dureza se realizó mediante un modelo lineal mixto de medidas repetidas en el tiempo con la dieta y el tiempo como efectos fijos y el animal como efecto aleatorio. La selección del mejor modelo estadístico se hizo siguiendo el criterio de información bayesiano (BIC). Las medias mínimo cuadráticas y las comparaciones de medias entre tratamientos se realizaron con la librería *emmeans* (Lenth, 2024) mediante el test de Tukey. Las relaciones entre variables se estudiaron empleando coeficientes de correlación de Pearson mediante la librería *corrplot*. Se consideraron significativos los *P*-valores < 0,05 y tendencias los valores iguales o mayores a 0,05 y menores de 0,10.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se van a presentar y discutir con respecto al efecto que tiene incluir en la dieta de terneros un forraje de mejor calidad, el heno de esparceta, sustituyendo la paja de cereal, que es de baja calidad, así como la inclusión de la esparceta en el pienso para facilitar su aporte en granjas de cebo intensivo. Es relevante recalcar que existe escasa información sobre el uso de heno y pélets de esparceta en la dieta de terneros por lo cual se han discutido los resultados con bibliografía existente en otras especies forrajeras similares y otro tipo de ganado vacuno como son las vacas lecheras y otra especie similar como es el ovino de carne.

Los piensos se formularon para ser iso-energéticos, variando algunos de sus ingredientes en función de la composición química de todos ellos (Tabla 1). En el pienso con esparceta, al incluir el 15% de pélet de esparceta se eliminaron la soja y tercerillas de cereal. Como resultado, el pienso control presentó mayor porcentaje de PB (+16%) y menor de fibra (-19% FND y -44% FAD) que el pienso con esparceta. Con respecto a los forrajes, el heno de esparceta aportado a los terneros presentó más PB (+78%) y mucho menor contenido en fibra (-78% FND y -50% FAD) que la paja. Así, las diferencias en composición química entre forrajes fueron mayores que las diferencias entre los piensos. La ingestión global de esparceta fue de 1,7 kg MF/d para la dieta de pienso + heno, 1,1 kg MF/d en dieta de pienso con esparceta + paja y 2,7 kg MF/d para la dieta de pienso con esparceta + heno.

Además de los cambios en la composición química de la dieta debidos a la inclusión de esparceta como forraje, puede haber efecto de las proantocianidinas (PAC) presentes en el heno (13,8 g eq. PAC/kg MS) y en el pélet (12,7 g eq. PAC/kg MS). Sin embargo, su efecto en el pienso será inferior al del heno al quedar el contenido en PAC diluido por estar el pélet incluido únicamente en un 15% en el pienso. Además, las temperaturas de fabricación del pienso pueden reducirlos. Baila et al. (2024) comprobaron que la inclusión de 0%, 20% y 40% de pélet de esparceta en el pienso de cebo de corderos incrementó el contenido en PAC del pienso de 1,3 a 3,0 y 5,2 g eq. PAC/kg MS, respectivamente. Sin embargo, aún no se ha podido determinar el contenido en el pienso en el presente trabajo.

4.1. Características de la canal

En la Tabla 3 se muestra el efecto que tuvo la dieta suministrada a los terneros sobre su peso al sacrificio y los parámetros de la canal.

Tabla 3. Efecto de la inclusión de esparceta en la dieta de los terneros sobre el peso al sacrificio y los parámetros de la canal

	Pienso + Paja	Pienso + Heno	Pienso ESP ¹ + Paja	Pienso ESP ¹ + Heno	EE ²	P-valor
Peso vivo (kg)	498 ^a	466 ^b	461 ^b	490 ^{ab}	7,87	0,004
Peso canal (kg)	285	277	271	274	5,03	0,27
Rendimiento canal (%)	57,17 ^{bc}	59,37 ^a	58,78 ^{ab}	55,93 ^c	0,52	<0,001
Conformación (1-18)	6,0 ^{ab} (O+)	5,8 ^b (O+)	6,5 ^a (R-)	6,0 ^{ab} (O+)	0,15	0,02
Engrasamiento (1-5)	2	2	2	2	-	-

¹Pienso con 15% de granulado de esparceta; ²Error estándar. En un parámetro, superíndices diferentes indican diferencias al P<0,05

La dieta afectó al peso previo al sacrificio (P=0,004), siendo más pesados los terneros alimentados a base de pienso comercial + paja que los alimentados con pienso + heno y pienso con esparceta + paja. No se encontraron diferencias en el peso de la canal debidas a la dieta (P>0,05) pero sí en el rendimiento a la canal (P<0,001). Los terneros alimentados con pienso comercial + heno de esparceta resultaron tener mayor rendimiento canal que los alimentados con pienso comercial + paja (P<0,05) y los alimentados con pienso con esparceta + heno de esparceta (P<0,001). Estos últimos tuvieron a su vez menor rendimiento canal que los terneros alimentados con pienso con esparceta + paja (P<0,01).

Los pesos al sacrificio a una determinada edad o tiempo de cebo suelen ser mayores en animales alimentados con concentrados que los alimentados en pastoreo o con henos de diferente calidad, acentuando este hecho si además contienen altas tasas de energía y proteína (Terler et al., 2023; Duckett et al., 2013). Cerdeño et al. (2006) encontraron similares pesos al sacrificio, pesos canales y rendimientos a las canales cuando los terneros se alimentaron durante 60 días con pienso + paja a voluntad o con pienso restringido + heno de alfalfa. Cabe destacar que, en dicho estudio, el periodo de finalización fue corto, que ambos grupos diferían en cuanto a MF consumida y que los pesos vivos presentaban diferencias de hasta en 37 kg. Sin embargo, el hecho de que no se observen diferencias estadísticamente significativas podría estar relacionado con la elevada variabilidad presente en los grupos (Cerdeño et al., 2006). Madruga et al. (2019) encontraron que los terneros alimentados durante 112 días con una ración compuesta mixta de pienso + 19% de heno de alfalfa presentaron una mayor ingestión y mayor

peso al sacrificio que aquellos alimentados con una ración compuesta por pienso + 10% de paja de cebada pero similar peso canal y rendimiento canal. De manera similar, en dietas mixtas con cereales, silo de maíz y 20% de heno de alfalfa o paja de cereal aportadas durante 90 días a terneros en crecimiento, Gao et al. (2023) encontraron una mayor ingestión y mayor peso al sacrificio en la dieta con heno de alfalfa con respecto a la de paja de cereal pero similar peso y rendimiento canal. Según Drouillard y Kuhl (1999), las diferencias de peso al sacrificio y rendimiento canal pueden estar relacionadas con diferencias en el contenido digestivo. Dicha explicación parece concordar con los resultados del presente estudio ya que los animales con mayor peso al sacrificio fueron también los que mayor ingestión presentaron, tal y como se refleja en la Tabla 2.

La mayoría de las canales fueron clasificadas en la categoría O+ (72,5%), y una minoría como R- (17,5%) y O (10%). Las de clase R se caracterizan por tener una conformación buena, con perfiles rectilíneos y con buen desarrollo muscular, mientras que las canales correspondientes a la clase O poseen perfiles rectilíneos a cóncavos con un desarrollo muscular medio (MAPA, 2022b). La conformación de las canales de los dos grupos alimentados con pienso comercial fue similar independientemente de que recibieran paja o con heno de esparceta ($P>0,05$). Lo mismo sucedió con la conformación de las canales en las que el pienso incluía pélet de esparceta ($P>0,05$). Las canales de los terneros alimentados con pienso con esparceta + paja presentaron mejor conformación que las de los terneros alimentados con pienso comercial + heno ($P<0,05$). No es clara la explicación para dicha diferencia. Estudios en los que el peso canal fue similar, como los de Madruga et al. (2019) y Cerdeño et al. (2006), no encontraron diferencias entre la conformación de la canal de terneros alimentados con raciones mixtas de pienso + 10% paja frente a los alimentados a base de ración mixta pienso + 19% heno de alfalfa, y la conformación de los alimentados a base de pienso + paja a voluntad frente a pienso restringido + heno de alfalfa, respectivamente. Blanco et al. (2010) tampoco encontraron diferencias entre dietas únicamente compuestas por concentrado frente a dietas consistentes en pastos de alfalfa con suplementación de cebada, y dietas como la anterior y terminados con concentrado. Estos resultados podrían deberse a que provienen de animales de mismos pesos. Por el contrario, las canales de los terneros alimentados con heno de alfalfa y maíz presentaron peor conformación que las de aquellos alimentados con pienso y paja (Blanco et al., 2017)

Con respecto al engrasamiento, todas las canales fueron clasificadas como 2. Al aportar heno que ha reducido el consumo de pienso, hubiera sido posible encontrar un menor grado de engrasamiento, ya que el forraje posee menor contenido energético que los concentrados (Robelin, 1981). Cerdeño et al. (2006) obtuvieron mayores porcentajes de engrasamiento en

terneros alimentados con concentrados, que los que consumían concentrado y heno de alfalfa. En nuestro estudio, es posible que, si los animales hubieran alcanzado pesos más elevados, se habrían evidenciado diferencias significativas en el engrasamiento de las canales en función de la dieta suministrada.

Por otro lado, la información disponible con respecto al efecto que tiene la adición de proantocianidinas en los piensos para ganado vacuno sobre estos parámetros es escasa, por lo que resulta complicado discutir la posibilidad de que se relacionen con efectos sobre los parámetros estudiados. Sin embargo, en corderos se ha comprobado que la inclusión de 20% y 40% de pélet de esparceta en el pienso no tuvo efecto en el peso canal, rendimiento canal o engrasamiento en comparación con los corderos que no recibieron pélet de esparceta (Baila et al., 2024). Además, las dietas forrajeras están relacionadas con un mayor desarrollo digestivo que las ricas en concentrados (Borton et al., 2005; Joy et al., 2008), lo que podría esperarse un menor rendimiento a la canal debido a la inclusión de esparceta en las dietas. Sin embargo, al incluirse la esparceta en el concentrado, el tamaño de las partículas de forraje podría ser lo suficientemente pequeño para no observarse ningún efecto (Banakar et al., 2018).

4.2. Características de la carne

El pH a las 48 horas del sacrificio resultó similar para todas las carnes ($5,65 \pm 0,013$, $P=0,80$; Tabla 4), encontrándose dentro de los valores considerados normales para carne fresca (5,5-5,7) (Warris, 2000; Wicks et al., 2019). Las diferencias en los valores de pH *postmortem* están relacionados principalmente con diferencias en el contenido de glucógeno muscular en el momento del sacrificio o con diferencias en la susceptibilidad al estrés en el manejo previo al sacrificio (Lawrie, 1998). En el presente estudio, el transporte y el manejo previo al sacrificio de los animales fueron los mismos para todos ellos por ser sacrificados en el mismo día. Al no encontrarse diferencias en el pH de la carne, se puede asumir que no hubo diferencias en el glucógeno muscular en el momento del sacrificio debidas a la dieta. Nuestros resultados concuerdan con los obtenidos por Blanco et al. (2010), quienes obtuvieron valores de pH similares en la carne de terneros alimentados con pienso frente a los alimentados en pastoreo de alfalfa. Del mismo modo, Madruga et al. (2019) tampoco encontraron diferencias en el pH de carne de vacuno alimentados con ración mixta + paja de cebada, frente a animales alimentados con ración mixta + 19% de alfalfa.

En la Tabla 4 se muestra la composición química de la carne según la alimentación recibida por los terneros. La dieta afectó a la humedad ($P<0,05$) y tendió a afectar al contenido de grasa bruta

($P < 0,10$) pero no afectó a la proteína bruta, cenizas, colágeno total y grasas saturadas totales ($P > 0,05$).

Tabla 4. Efecto de la inclusión de esparceta en la dieta de los terneros sobre la composición química del músculo longissimus thoracis

	Pienso + Paja	Pienso + Heno	Pienso ESP ¹ + Paja	Pienso ESP ¹ + Heno	EE ²	P-valor
pH	5,63	5,67	5,65	5,64	0,03	0,80
Humedad	71,39 ^b	72,47 ^a	72,11 ^{ab}	71,92 ^{ab}	0,250	0,03
Proteína bruta (%MF ³)	22,83	22,59	22,58	22,55	0,130	0,42
Grasa bruta (%MF ³)	3,43	2,71	2,95	3,34	0,222	0,09
Cenizas (%MF ³)	2,35	2,23	2,36	2,19	0,065	0,16
Colágeno (%MF ³)	1,17	1,04	1,17	1,05	0,050	0,12
Grasas saturadas (%MF ³)	1,20	0,89	0,97	1,03	0,104	0,20

¹Pienso con 15% de granulado de esparceta; ²Error estándar; ³ Materia fresca
En un parámetro, superíndices diferentes indican diferencias al $P < 0,05$

La carne de los terneros alimentados con pienso + heno de esparceta presentó mayor humedad que la de los terneros alimentados con pienso + paja ($P < 0,05$). Sin embargo, la carne procedente de terneros alimentados con pienso con esparceta presentó valores intermedios, y no mostró diferencias entre los que recibieron heno o paja en sus dietas. Cerdeño et al. (2006) comprobaron que carnes procedentes de terneros a los que se les había adicionado heno de alfalfa en sus dietas contenían mayor humedad que las carnes procedentes de terneros a los que se les había incorporado paja de cereal. Se ha comprobado que cuanto mayor es el contenido de energía y proteína en las dietas de terneros, menor es el contenido de humedad de la carne (Prior et al., 1977). Sin embargo, en el presente estudio los terneros de la dieta pienso + heno tuvieron mayor ingestión de proteína y menor de energía que los de la dieta pienso + paja. Por otro lado, las diferencias en cuanto al contenido de humedad de la carne puede relacionarse con su grado de engrasamiento, en función de la alimentación del animal (Cerdeño et al., 2006). Así, en el presente estudio se puede comprobar que la carne con menor humedad coincide con la que mayor contenido de grasa posee estando ambos parámetros estrechamente correlacionados ($r = -0,84$; $P < 0,001$).

Por otro lado, un mayor contenido de grasa en la carne influye directamente en su dureza, facilitando la masticación (Gao et al., 2023). En el presente estudio, se observó una tendencia a un mayor porcentaje de grasa en los grupos de animales alimentados con pienso + paja y pienso con esparceta + heno ($P = 0,09$), que también tuvieron un peso vivo al sacrificio mayor. Se ha

comprobado que la carne de animales alimentados con concentrados contiene mayores porcentajes de grasa que los alimentados a base de forrajes (Blanco et al., 2010; Duckett et al., 2013). Esto se debe a que el forraje posee menor contenido energético, que hace que los animales finalizados con este tipo de alimentación depositen menos grasa intramuscular, por ser este tejido de desarrollo tardío (Robelin, 1981). Sin embargo, Madruga et al. (2019) obtuvieron similar grasa intramuscular en la carne de terneros alimentados con concentrado a los que se les adicionaba 10% paja de cebada frente a 19% de heno de alfalfa. Marino et al. (2006) tampoco encontraron diferencias en cuanto al contenido de grasa y proteína de la carne en terneros alimentados con dietas con ratio concentrado:heno 40:60 vs 30:70. Tampoco Cerdeño et al. (2006) encontraron diferencias en la grasa intramuscular de los terneros alimentados a base de concentrado + paja y aquellos alimentados con pienso + heno de alfalfa.

En el presente estudio, la clasificación de la canal en cuanto a engrasamiento fue de 2, habitual en la raza objeto de estudio a la edad a la que se sacrificaron los animales. La grasa intramuscular se deposita en una etapa posterior al desarrollo del músculo. Es posible que en el presente estudio los animales aún no hubiesen comenzado la etapa de deposición de grasa intramuscular, por ello, si hubiesen sido sacrificados a mayor peso, podrían haberse encontrado diferencias estadísticamente significativas en este parámetro en función de la dieta suministrada.

En el presente estudio, el colágeno total no difirió entre dietas. De manera similar, Madruga et al. (2019) no observaron diferencias en el colágeno total entre grupos de terneros alimentados pienso y 10% paja frente al 19% de heno de esparceta. Este hecho podría estar relacionado con que todas las dietas poseían contenidos similares de energía, ya que una dieta alta en energía suele conllevar mayor contenido en colágeno (Bailey y Light, 1898). El contenido de colágeno depende principalmente de la raza y del grado de madurez del animal (Blanco et al., 2013) y la deposición de grasa intramuscular (Nishimura et al., 1999). En el presente estudio, la correlación entre el colágeno total y la grasa intramuscular fue media-baja ($r=0,40$; $P=0,01$).

Por otro lado, Baila et al. (2023) comprobaron que la inclusión de pélet de esparceta (0%, 20% y 40%) en la dieta de corderos no afectó a la materia seca, ni grasa intramuscular, ni a los ácidos grasos totales de la carne, resultados que concuerdan con los observados en nuestro estudio.

El hecho de que no se encuentren diferencias en la mayoría de los parámetros estudiados en relación con la composición química de la carne resulta ser un aspecto positivo, ya que sugiere que la adición de esparceta en la dieta de ganado vacuno no produce cambios negativos en dichos parámetros. De esta manera, es posible conseguir productos de la misma calidad haciendo uso de ingredientes locales y evitando la dependencia de la importación de materias

primas de terceros países, así como los problemas medioambientales que esta importación puede conllevar.

En cuanto a la evolución de los parámetros de color de la carne medidos desde las 2 horas (día 0) hasta los 11 días de exposición al oxígeno, la luminosidad (L^*) se vio afectada por la interacción entre la dieta y el tiempo de exposición al oxígeno ($P < 0,05$), observándose únicamente diferencias debidas a la dieta en el día 1 de exposición al oxígeno ($p < 0,05$; Figura 3). En ese momento, la carne de los terneros alimentados con pienso con esparceta + heno presentaron mayor L^* que los alimentados con pienso con esparceta + paja ($P = 0,03$), mientras que los alimentados con piensos comerciales mostraron valores intermedios.

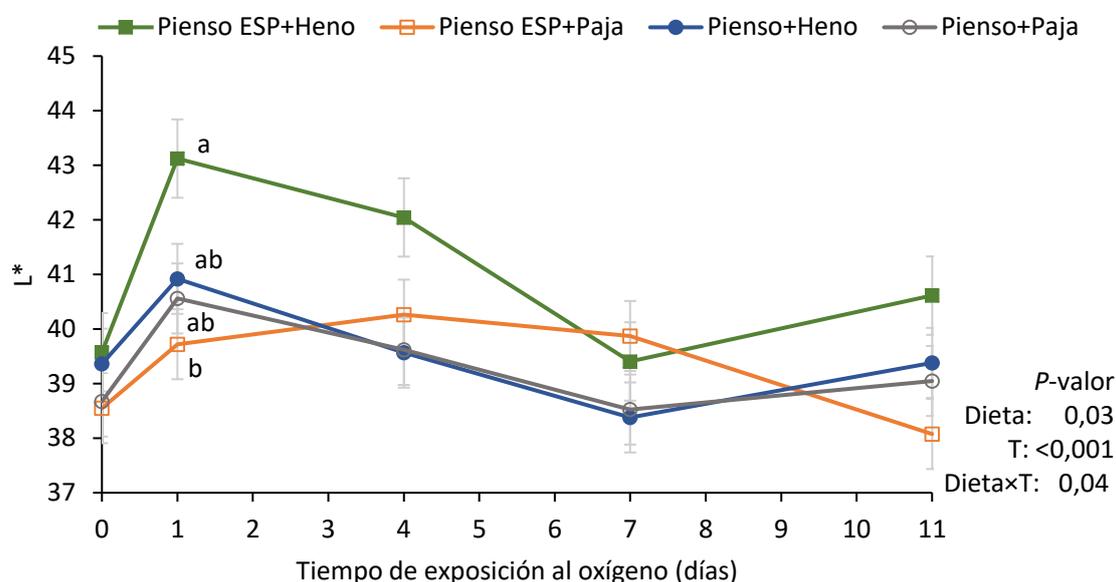


Figura 3. Efecto de la dieta suministradas a terneros sobre la luminosidad (L^*) del músculo LT a lo largo del tiempo de exposición al oxígeno (T). En un tiempo de exposición al oxígeno, distintas letras indican diferencias ($P < 0,05$)

Diversos estudios no han encontrado diferencias en L^* entre dietas basadas en concentrados + paja y concentrados + heno de alfalfa (Cerdeño et al., 2006), o entre pélet de heno, heno y concentrado + heno en corderos (Bu et al., 2021), o entre dietas basadas en concentrado y en una relación forraje:concentrado de 54:46 (Santos Silva et al., 2023). Sin embargo, Rivera-Bautista et al. (2023) observaron que la L^* era superior en los días 1, 5 y 10 de exposición al oxígeno en corderos alimentados a base de concentrado, frente a los de heno de alfalfa, a diferencia de lo observado en nuestro estudio en el día 1 de exposición, para la que debemos seguir investigando las causas.

En cuanto a la evolución con el tiempo de exposición en el presente estudio, únicamente varió la L* de la carne de los terneros alimentados con pienso con esparceta + heno, incrementándose entre el día 0 y 1 y volviendo a descender el día 7 ($P < 0,05$). Se ha demostrado que uno de los factores que más incide en la evolución de L* con el tiempo en la carne es el pH. Inmediatamente después del sacrificio, la carne del animal es translúcida y de apariencia oscura, ya que la difusión de la luz incidente es débil. Tras instaurarse el *rigor mortis*, el glucógeno residual se transforma en ácido láctico y el pH desciende hasta aproximadamente 5,5, en condiciones normales. Al descender el pH, el músculo se vuelve más opaco y refleja una mayor parte de la luz incidente, siendo el color de la carne más pálido (Renner, 1982). Dicha tendencia se puede observar en la en los primeros días de exposición de la carne al oxígeno.

Además, el peso de la canal influye en la velocidad de enfriamiento de la misma, afectando al color de la carne (Yang et al., 2002). En el presente estudio, las carnes más oscuras coinciden con las canales más pesadas. Algunos autores sugieren que las diferencias en la luminosidad de la carne podrían estar vinculadas al contenido de grasa intramuscular (Hedrick et al., 1983; Coulon y Priolo, 2002). Sin embargo, en el presente estudio no se confirma esta relación, ya que todos los animales presentan bajos niveles de grasa intramuscular. Como resultado, el grupo con mayor contenido de grasa intramuscular (pienso comercial + paja) es el que muestra la carne menos luminosa durante casi todo el periodo de almacenamiento. De la misma manera, Cerdeño et al. (2006) tampoco observaron esa relación entre grasa intramuscular y luminosidad de la carne de terneros alimentados con concentrado + paja o heno de alfalfa.

Por otra parte, la presencia de proantocianidinas podría tener efecto en la luminosidad. Tal y como sucede en nuestro estudio en el día 1 de exposición, Lobón et al. (2017b) comprobaron que la carne de corderos lechales procedentes de madres en cuyas dietas se había incluido quebracho (rico en proantocianidinas) poseían mayores valores de L* a los 7 y 11 días que las que no contenían estos compuestos en su alimentación. Por otro lado, la presencia de proantocianidinas incrementó L* en corderos alimentados con zulla (*Hedysarum coronarium*) o acacia (*Acacia cyanophylla*) (Priolo et al., 2002; Priolo et al., 2005).

El índice de rojo (a^*), índice de amarillo (b^*) y la saturación (C^*_{ab}) únicamente se vieron afectados por el tiempo de exposición al oxígeno ($P < 0,001$; Figuras 4 a 6). Los parámetros a^* y b^* se vieron influenciados por el tiempo de exposición al oxígeno de manera similar (Figura 4 y Figura 5) con un aumento de su valor durante las primeras 24 horas, teniendo un máximo en el día 1 de exposición de la carne al oxígeno. Posteriormente, el parámetro a^* fue disminuyendo con los días de exposición, mientras que los valores de b^* a partir del día 4 se mostraron

estables. Además, fue en el séptimo día cuando el valor de a^* resultó ser igual que en el día 0 de exposición, mientras que b^* no llegó a descender hasta el valor inicial durante el periodo de estudio. La evolución observada se debe a la oxigenación inicial de la mioglobina, que hace que aumenten los valores de a^* y b^* , confiriendo un color rojo más intenso a la carne. Posteriormente, comienza a oxidarse la mioglobina y con ello, la formación de metamioglobina, que hace que en ocasiones, a^* y b^* se vean disminuidos (Hernández et al., 2019), tal y como sucede en nuestro estudio.

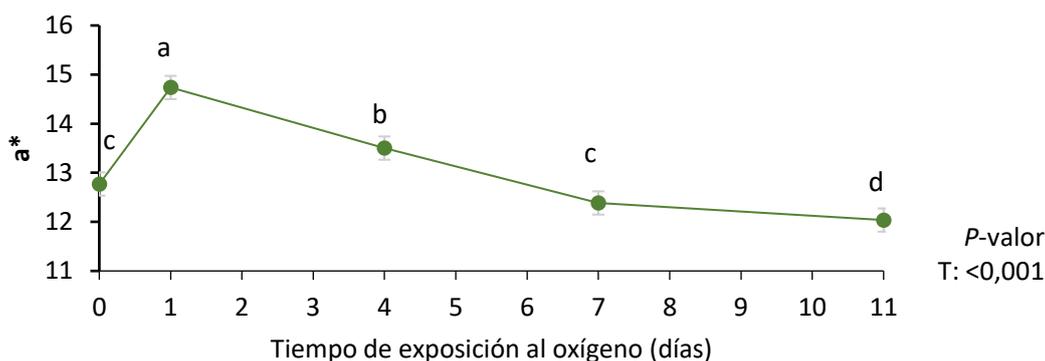


Figura 4. Evolución del índice de rojo (a^*) con el tiempo de exposición al oxígeno en el músculo LT. Distintas letras indican diferencias ($P < 0,05$)

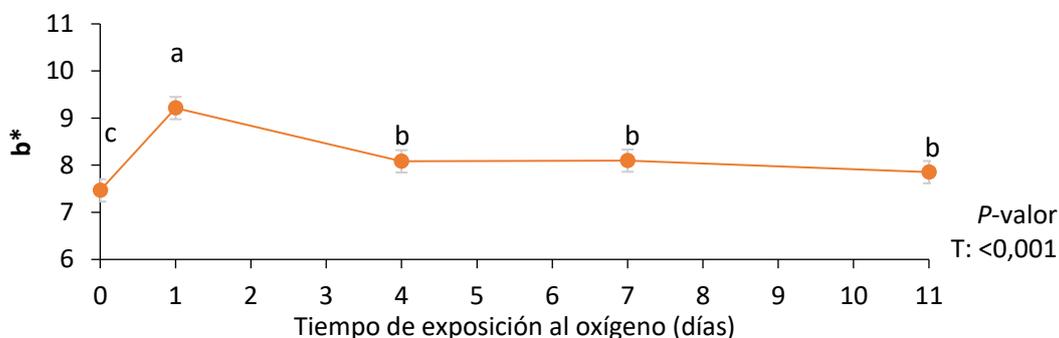


Figura 5. Evolución del índice de amarillo (b^*) con el tiempo de exposición al oxígeno (T) en el músculo LT. Distintas letras indican diferencias ($P < 0,05$)

Dicha evolución observada en el color de la carne también fue reportada por Blanco et al. (2010), quienes observaron que tanto a^* como b^* se vieron afectados por los días de exposición de la carne al oxígeno, pero no por el tipo de dieta suministrada a los animales. En dicho estudio, ambos parámetros aumentaron hasta el segundo día de exposición al oxígeno, disminuyendo posteriormente hasta valores obtenidos en el momento inicial. Sin embargo, estos obtuvieron valores más elevados para ambos parámetros que los obtenidos en el presente estudio. Fruet et al. (2018) también observaron que a lo largo de los días de exposición de la carne al oxígeno se producía un descenso tanto de a^* como de b^* para los distintos tipos de alimentación

estudiados. Tal y como se observa en nuestro estudio, son otros muchos los autores que no han observado efectos de la dieta en los parámetros de a^* y de b^* (Cerdeño et al., 2006; Garmyn et al., 2010; Arnett et al., 2012; Duckett et al., 2013; Santos-Silva et al., 2023). French et al. (2001) informaron que los valores similares de a^* en los distintos grupos de alimentación podrían estar relacionados con el similar peso del animal al sacrificio, hecho que puede observarse en nuestro estudio. Dufrasne et al. (1995) también informaron que la ausencia de diferencias en las mediciones colorimétricas entre las distintas dietas suministradas podría estar relacionada con el hecho de que la carne de todos los grupos presentaba contenidos similares de mioglobina.

Por otro lado, Holman et al. (2017) informaron que el valor de a^* es el mejor indicativo de aceptabilidad de la carne de vacuno, con un umbral inferior de aceptación por parte de los consumidores de 14,5. Teniendo en cuenta este valor, las distintas carnes obtenidas en este estudio únicamente se ajustarían a las preferencias de los consumidores en el segundo día de exposición. Sin embargo, este hecho no se encuentra relacionado con el tipo de alimentación y puede deberse a otros factores como el sexo, la edad o la raza. Otros autores también encontraron correlaciones positivas entre a^* y la apreciación visual de la carne por parte de los consumidores (Chan et al., 1996; Renerre y Mazuel, 1985).

La saturación (C^*_{ab}) siguió prácticamente la misma tendencia que a^* , con un aumento de su valor durante las primeras 24 horas y una disminución gradual de la saturación con el paso de los días (Figura 6). Dicha disminución también puede estar relacionado con el aumento del porcentaje de metamioglobina en la carne (Hernández et al., 2019).

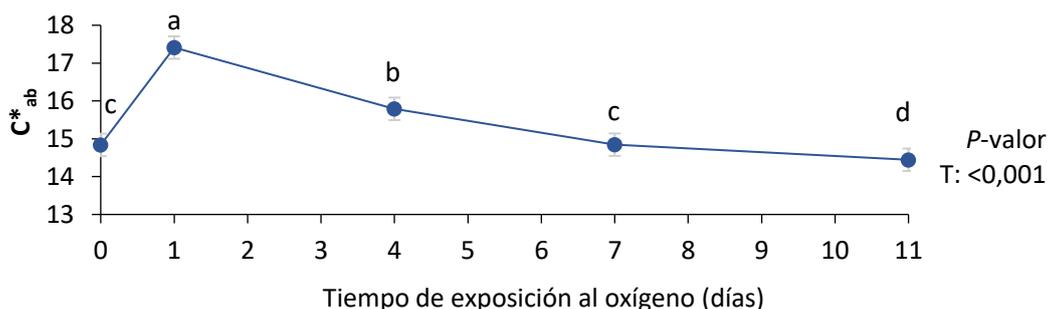


Figura 6. Evolución del parámetro saturación (C^*_{ab}) con el tiempo de exposición al oxígeno (T) en el músculo LT. Distintas letras indican diferencias ($P < 0,05$)

El tono (h_{ab}) se vio afectado por la dieta ($P=0,03$) y el tiempo de exposición al oxígeno ($P < 0,001$; Figura 7). Los terneros alimentados con pienso con esparceta + heno fueron los que tenían la carne con mayor tono, seguidos por los alimentados con pienso con esparceta + paja, pienso comercial + heno y por último aquellos alimentados con pienso comercial + paja. Por lo

tanto, se observa un efecto positivo de la adición de forrajes a las dietas de los animales en cuanto a este parámetro de color de la carne.

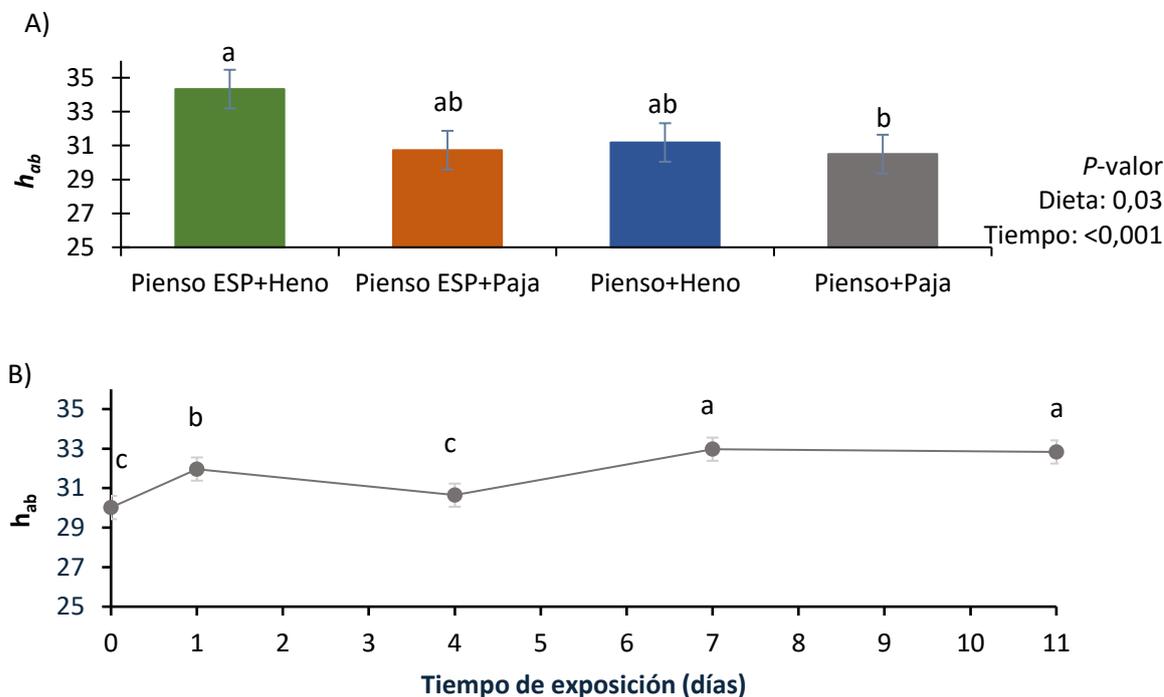


Figura 7. Efecto de la dieta suministrada a los terneros (A) y el tiempo de exposición al oxígeno (B) sobre el tono (h_{ab}) del músculo LT. Para cada efecto, distintas letras indican diferencias ($P < 0,05$)

A lo largo del tiempo, el tono aumentó durante las primeras 24 horas de exposición al oxígeno. Posteriormente, se produjo una disminución hasta el cuarto día de exposición y finalmente se observó un aumento hasta el séptimo, manteniéndose prácticamente igual hasta el final del estudio (Figura 7B). Este ligero aumento de h_{ab} con el tiempo podría estar relacionado con el aumento del porcentaje de metamioglobina.

El porcentaje de metamioglobina (MMb) en la carne de los terneros se vio afectado por la interacción entre el tipo de dieta y el tiempo de exposición de la carne al oxígeno ($P=0,04$; Figura 8). Para cada día de exposición, no se observaron diferencias significativas debidas a la dieta ($P > 0,05$). Sin embargo, la evolución a lo largo del tiempo de las distintas dietas sí que resulta diferente. Entre los días 0 y 1 de exposición se observó un aumento en las dos dietas que contenían heno ($P < 0,01$) y una tendencia en la dieta pienso + paja ($P=0,07$). Entre el día 1 y 4, se produjo un aumento en todas las dietas ($P < 0,001$). Entre los días 4 y 7 días, los porcentajes se mantuvieron estables ($P > 0,05$). Finalmente, entre los 7 y 11 días el porcentaje únicamente se incrementó en la dieta pienso con esparceta + heno ($P=0,049$).

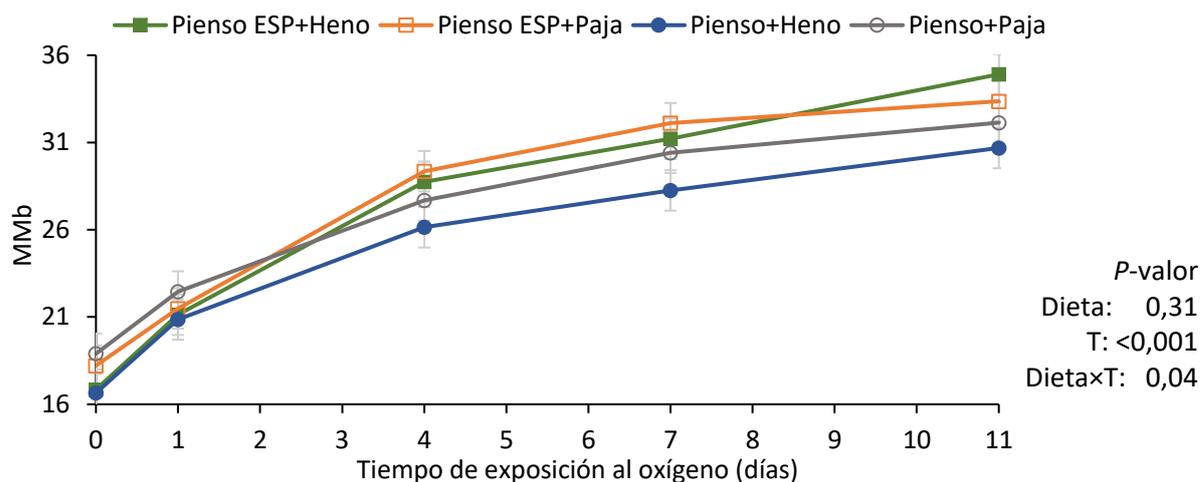


Figura 8. Evolución del porcentaje de metamioglobina (MMb) del músculo LT durante el tiempo de exposición al oxígeno (T) según la dieta suministrada a los terneros

Teniendo en cuenta el efecto de la dieta sobre el porcentaje de MMb, Baila et al. (2024) encontraron similares porcentajes de MMb en la carne de corderos alimentados con distinto porcentaje de esparceta durante el periodo de finalización (0%, 20% y 40%), tal y como sucede en el presente estudio.

Luciano et al. (2011) observaron una interacción entre el tiempo de exposición al oxígeno de la carne de corderos y el tipo de dieta suministrado (concentrado vs quebracho). Dichos autores comprobaron que los corderos alimentados con quebracho tenían menores contenidos de MMb, sugiriendo que las proantocianidinas presentes en su composición son capaces de mostrar cierta resistencia su formación. Sin embargo, Baila et al. (2022a) comprobaron que la presencia de proantocianidinas de esparceta en la dieta de madres no tuvo efecto sobre el contenido la metamioglobina en la carne de los corderos lechales. En el presente estudio, la inclusión de proantocianidinas tampoco ha tenido efecto sobre el contenido de MMb.

En cuanto al tiempo de exposición de la carne al oxígeno, Baila et al. (2022a) observaron que el contenido de MMb aumentó progresivamente hasta el día cinco. De manera similar, en el presente estudio, se mantiene estable el nivel de MMb a partir del día cuatro.

La formación de metamioglobina es el problema más importante para preservar un color estable de la carne (Sen et al., 2012) y un parámetro clave en las decisiones de compra de los consumidores, ya que uno de cada dos consumidores rechaza el producto cuando la proporción de metamioglobina en la superficie de la carne alcanza el 20% de la mioglobina (Rennerre y Mazuel, 1985), y cuando llega al 50% se vuelve totalmente inaceptable (Van den Oord y Wesdorp, 1971). En este sentido, todas las dietas se comportaron de manera similar superando

el umbral del 20 % a los 4 días y no llegando en ningún caso a superar el 40% de metamioglobina. Estos umbrales de rechazo en función del porcentaje de metamioglobina son dependientes del tipo y la cantidad de mioglobina de la carne con el que se hacen los estudios, además del país donde se realizan los estudios. Por ello, hay que ser cautos con su interpretación, más aun teniendo en cuenta que la carne de este estudio no mostraba señales de absoluto deterioro al final del mismo. Sin embargo, el hecho de que no se encuentren diferencias entre dietas en un parámetro que determina la capacidad de compra del consumidor, tal y como sucede también en nuestro estudio, confirma que la inclusión de esparceta en las dietas no perjudica la valoración por los consumidores.

El esfuerzo máximo en el músculo LT se vio afectado por el tiempo de maduración de la carne ($P < 0,001$) pero no por la dieta suministrada a los terneros ($P = 0,60$). Este parámetro disminuyó entre el día 2 y 7 ($P < 0,05$) y se mantuvo constante desde el día 7 al 14 (Figura 9).

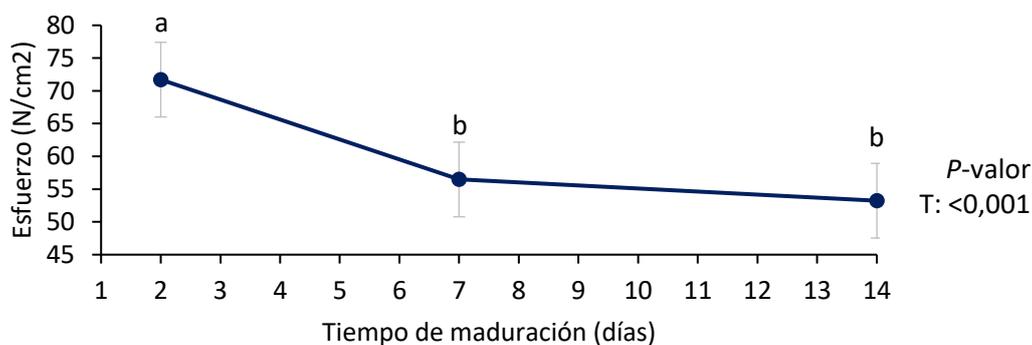


Figura 9. Evolución del esfuerzo máximo con el tiempo de maduración (T) en el músculo LT. Distintas letras indican diferencias ($P < 0,05$)

Tal y como sucede en este estudio, las estrategias de alimentación durante el cebo de los terneros no influyeron en la terneza de la carne. Estos resultados son coherentes con la ausencia de diferencias en cuanto al contenido en colágeno de la carne de las distintas dietas. Tanto Cerdeño et al. (2010) como Madruga et al. (2019) no obtuvieron diferencias en la fuerza de corte entre la carne de terneros alimentados con concentrado y paja frente a los alimentados con concentrado y heno de alfalfa. Aguayo-Ulloa et al. (2013) tampoco observaron que la fuerza de corte de la carne de corderos estuviese influenciada por la estrategia de acabado de grano de cebada+heno de alfalfa y pélet comercial+paja. De la misma manera, Marino et al. (2006) comprobaron también que las diferencias en la proporción de concentrado:forraje no influía en la fuerza de corte Warner Bratzler, resultando ser igual para proporciones 60:40 y 70:30.

En cuanto al efecto de la maduración de la carne, Iguácel et al. (2019) observaron que la fuerza de corte disminuyó en terneros alimentados con pasto vs ración mixta hasta los 7 días de

maduración de la carne. Sin embargo, entre el día 7 y 15 de maduración la fuerza de corte no disminuyó, siendo siempre superior la de los alimentados con pasto. Estas diferencias entre dietas pueden relacionarse con factores tales como diferencias en la deposición de colágeno soluble e insoluble y sus enlaces cruzados, diferencias en la ganancia de peso o diferencias en la cobertura de grasa de la canal (Muir et al., 1998). French et al. (2000) no encontraron diferencias en cuanto a la fuerza de corte entre ganado bovino alimentado con forraje vs concentrados cuando la carne se maduró 7 y 14 días, y concluyeron que cuando se sacrifican a un peso o espesor de grasa subcutánea fijo se minimizan las posibles diferencias que hubieran podido aparecer inicialmente con la dieta. De manera similar, Muir et al. (1998) en una revisión concluyeron que si los animales son sacrificados a pesos similares es posible que no se observen diferencias en la dureza de la carne. En el presente estudio, tanto el peso canal, como el engrasamiento y el porcentaje de colágeno resultaron ser similares entre las distintas dietas suministradas, hecho que pudo hacer que no se encontrasen diferencias en la fuerza de corte entre los distintos grupos estudiados.

La reducción de la dureza de la carne con el periodo de maduración está relacionada con cambios en las propiedades de las fibras musculares y del tejido conectivo durante la conversión del músculo en carne. Tras el sacrificio, la dureza aumenta durante el llamado *rigor mortis* (Maltin et al., 2003). En este momento, el esfuerzo es máximo, tal y como presentan varios estudios previos (Franco et al., 2009; Morgan et al., 1993; Wu et al., 2014). Tras esta fase, conforme disminuye el pH de la carne, se activan las enzimas proteolíticas, que permiten la degradación de proteínas y, por tanto, la mejora de la terneza de la carne (Ellies-Oury et al., 2022). Aunque existen varios sistemas proteolíticos endógenos en el músculo, los estudios de los últimos veinte años han sugerido que el aumento de la terneza de la carne con el tiempo es principalmente resultado de la degradación proteica mediada por calpaínas (Taylor et al., 1995; Wheeler et al., 2000).

Por último, la oxidación lipídica de la carne fresca se vio afectada tanto por la dieta suministrada a los terneros ($P < 0,05$) como por el tiempo de exposición de la carne al oxígeno ($P < 0,001$; Figura 10), no siendo significativa la interacción de ambos factores. En cuanto al efecto de la dieta, la carne de terneros alimentados con pienso con esparceta + paja mostró una oxidación lipídica mayor que la de las otras tres dietas ($P < 0,05$), que mostraron valores similares (Figura 10A). Hay que destacar que los valores fueron muy bajos en todos los casos.

Varios estudios han encontrado que las dietas basadas en forrajes producen carne con una menor oxidación lipídica. Gruffat et al. (2020) observaron un mayor contenido de MDA en carne

de corderos alimentados con concentrados y heno frente a los alimentados a base alfalfa y pélets de esparceta a lo largo del periodo de exposición de la carne al oxígeno. En dicho estudio, se comprobó un aumento brusco de la concentración de MDA en corderos alimentados con concentrado y heno a los 8 días de exposición, mientras que la concentración se mantuvo baja y sin cambios en los alimentados a base de forraje. Estos resultados se encuentran en línea con varios estudios que muestran el efecto protector contra la oxidación lipídica de los sistemas de alimentación basados en pasto de esparceta o praderas, en comparación con dietas basadas en concentrados (Lobón et al., 2017a,b). Sin embargo, autores como Marino et al. (2006) han informado que las distintas proporciones de heno:concentrado estudiadas (60:40 y 70:30) en dietas de terneros no tuvieron efecto sobre la oxidación lipídica de la carne.

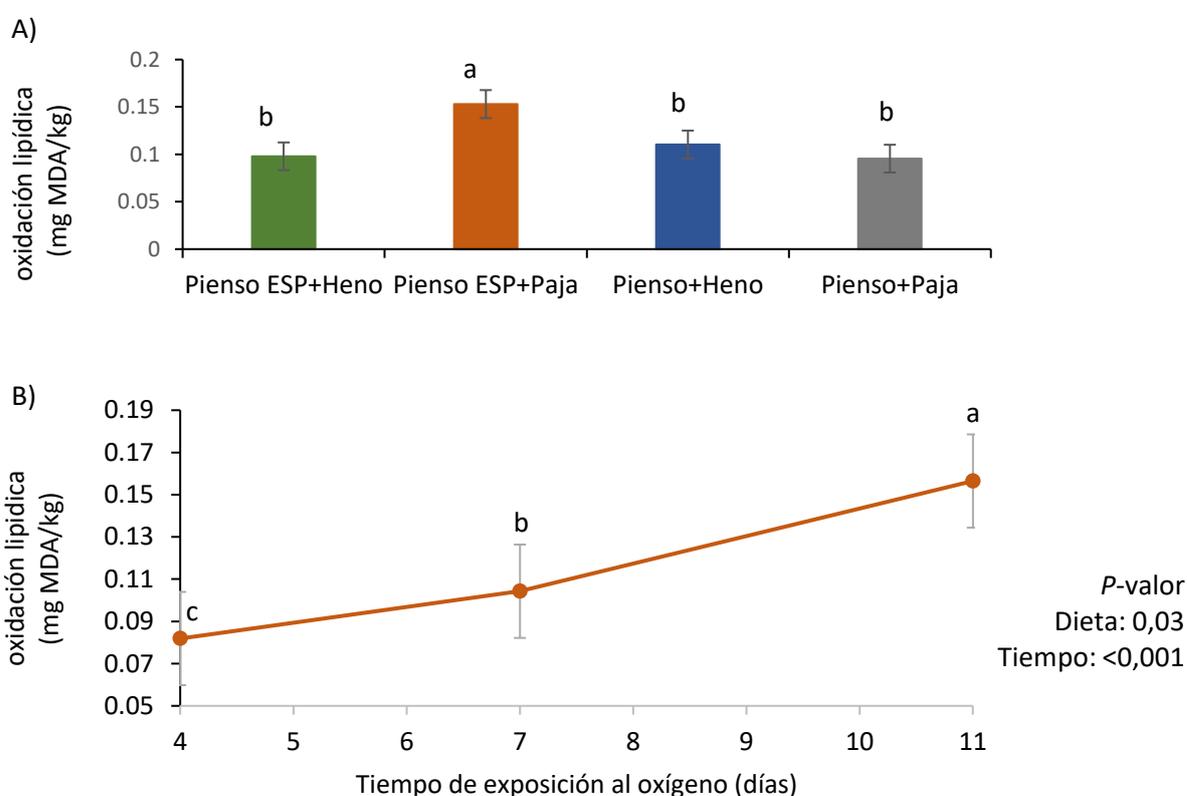


Figura 10. Efecto de la dieta de los terneros (A) y el tiempo exposición al oxígeno (B) sobre la oxidación lipídica en el músculo LT. MDA: malondialdehído. Para cada efecto, distintas letras indican diferencias ($P < 0,05$)

El hecho de que se relacionen los forrajes con un menor grado de oxidación lipídica radica en que estos contienen generalmente un alto nivel de compuestos secundarios que se depositan en los tejidos animales y que tienen propiedades antioxidantes para proteger a los lípidos de la oxidación (Vasta y Luciano, 2011), tales como el α -tocoferol o las proantocianidinas presentes en la esparceta. Gruffat et al. (2020), observaron que la presencia de vitamina E en el forraje de alfalfa minimizaba la oxidación lipídica incluso cuando la carne de ovino se almacenaba durante

8 días en condiciones de envasado aeróbico. Sin embargo, se sabe que el proceso de henificación disminuye el contenido de α -tocoferol en los productos. Rufino-Moya et al. (2022) comprobaron que mientras que la esparceta fresca contenía 122 mg/kg MS de α -tocoferol, la henificada contenía 61 mg/kg MS.

Dado que en nuestro estudio está pendiente la determinación de α -tocoferol de los ingredientes de las dietas, es posible que los niveles iniciales en los forrajes de esparceta fueran bajos. Este hecho, junto con la disminución de α -tocoferol durante el proceso de henificación, podría haber resultado en niveles insuficientes para observar una diferencia en la oxidación lipídica entre las dietas que incorporaban heno y las que no.

Además, la presencia de proantocianidinas tampoco parece evidenciar una reducción de la oxidación lipídica de la carne en nuestro estudio, ya que dietas en las que está presente este compuesto han presentado los mismos niveles que la dieta control constituida por pienso comercial + paja. Gruffat et al. (2020) observaron que el uso de pélets de esparceta ricos en proantocianidinas como complemento en las dietas de corderos que pastaban alfalfa no alteró los parámetros de peroxidación. De manera similar, Brogna et al. (2014) también observaron que la suplementación de dietas de corderos con proantocianidinas no tenía ningún efecto en la oxidación lipídica de la carne almacenada durante 12 días en refrigeración. Sin embargo, se ha encontrado que las proantocianidinas otorgan una mayor resistencia al deterioro oxidativo (Gobert et al., 2010; Vasta y Luciano, 2011). Lobón et al. (2017b) comprobaron que la carne de corderos cuyas madres recibieron pienso con 10% quebracho, rico en proantocianidinas, presentaba menores niveles de oxidación lipídica que la de aquellos cuyas madres recibieron pienso sin proantocianidinas. Los bajos niveles de proantocianidinas tanto en el heno (13,8 g eq. PAC/kg MS) como en el pélet (12,7 g PAC/kg MS) podrían haber sido insuficientes para influir significativamente, dado que el grupo control también presenta valores reducidos de oxidación lipídica.

Con respecto al efecto del tiempo de exposición al oxígeno, la oxidación lipídica se vio incrementada durante todo el tiempo, sin embargo, no superó los 0,17 mg MDA/kg carne fresca a los once días de exposición (Figura 10B). Algunos estudios han investigado los límites de MDA en carne de vacuno para su aceptación por parte del consumidor. Así, Campo et al. (2006) establecieron un umbral de 2,0 mg MDA/kg para considerar la carne oxidada como aceptable, ya que el flavor a rancio prevalecía sobre el flavor a vacuno. Por otra parte, McKenna et al. (2005) propusieron un umbral más bajo de 1,0 mg MDA/kg. No obstante, Hughes et al. (2015) encontraron que carne de vacuno con niveles entre 2,60 y 3,11 mg MDA/kg aún resultaban

aceptables para los consumidores. Teniendo esto en cuenta, se considera que los resultados obtenidos están muy lejos de valores que supondrían un rechazo para los consumidores.

Los procesos oxidativos son reacciones químicas múltiples, que se ven favorecidas entre otros aspectos, por el trascurso del tiempo, comenzando con el sacrificio del animal y continuando progresivamente hasta que se consume el producto final (Chaijan y Panpipat, 2017). Entre los cambios que produce la oxidación lipídica en la carne, se encuentra la alteración del color de esta (Amaral et al., 2018). En el presente estudio, la evolución de la oxidación lipídica refleja cambios observados anteriormente en el color del músculo con el tiempo de exposición al oxígeno. Así, se ha comprobado que se produce una disminución en el índice de rojo con el tiempo de exposición al oxígeno, parámetro importante en la aceptabilidad de la carne de vacuno (Gatellier et al., 2005; Holman et al., 2017), acompañado de un aumento en la oxidación lipídica de la carne.

Tal y como se ha comprobado en este estudio, la oxidación lipídica aumentó con el tiempo de exposición de la carne al oxígeno entre los 0 y 6 días, independientemente de si los animales se alimentaban con ración mixta o pasto de esparceta (Li et al., 2024). Fruet et al. (2018) también comprobaron un aumento de la oxidación lipídica a lo largo de los trece días de almacenamiento de la carne de vacuno en todas sus dietas consistentes en grano de maíz, pasto de leguminosas-gramíneas suplementado con grano de maíz, y únicamente pasto de leguminosas-gramíneas. Lobón et al. (2017b) observaron un aumento de la oxidación lipídica con el tiempo de almacenamiento en carne de corderos lactantes cuyas madres habían sido alimentadas tanto con heno como con pasto. De la misma manera, Gruffat et al. (2020) comprobó un aumento de la oxidación lipídica en carne de corderos alimentados tanto con concentrado + alfalfa como con paso de alfalfa + pélet de esparceta.

Los valores de oxidación lipídica obtenidos en la dieta constituida por pienso con esparceta + paja resultan ser prácticamente el doble que los obtenidos en las tres dietas restantes, sin embargo, es cierto que como se ha comentado anteriormente, todos los valores de resultan ser muy bajos para considerar que la carne se ha deteriorado. Una de las posibles explicaciones podría ser que existieran diferencias en el contenido de grasa intramuscular, así como en la composición de ácidos grasos, ya que los insaturados son más susceptibles a la oxidación (Domínguez et al., 2019). Sin embargo, no hubo diferencias debidas a la dieta en estos parámetros. Además, estas diferencias en la oxidación lipídica no se deben al distinto manejo de las muestras ya que todas se almacenaron y practicaron de la misma manera. Adicionalmente, el método fue verificado y se comprobó que era adecuado para el tipo de

muestra a determinar. Se puede comprobar que los valores más elevados de MDA para la dieta de pienso con esparceta + paja coincide con la carne que presenta menores valores de luminosidad en el día once de exposición de la carne al oxígeno, resultando adecuados los resultados obtenidos. La limitada información sobre el impacto de la sustitución de paja de cereales por heno de calidad en la carne, y en particular en la carne de vacuno, dificulta encontrar una solución comprobada para los valores más elevados de oxidación observados en la dieta con pienso de esparceta + paja.

5. CONCLUSIONES

En el presente estudio se evalúa el efecto de incluir esparceta como heno o en forma de pélet en el pienso, comparándolo con la calidad de la canal y la carne producida habitualmente en nuestras condiciones, a base de pienso comercial más paja. Además, se pueden extraer conclusiones comparando entre las distintas formas de inclusión de la esparceta.

En base a los resultados obtenidos se pueden obtener las siguientes conclusiones parciales:

1. La inclusión de esparceta en la dieta influyó en el peso vivo de los terneros, siendo mayor en los que consumieron pienso comercial + paja que en los alimentados con pienso comercial + heno y pienso con esparceta + paja, presentando las otras dietas pesos intermedios.
2. Las canales obtenidas de las dietas en las que se incluyó esparceta presentaron similar peso, engrasamiento y conformación que las de los terneros de pienso comercial + paja. Sin embargo, las canales de los terneros alimentados con pienso con esparceta + paja presentaron mejor conformación que los alimentados con pienso comercial + heno de esparceta.
3. La composición química del músculo *longissimus thoracis* no se vio afectada por la inclusión de esparceta en la dieta de los terneros, excepto el contenido de humedad, que fue inferior en los terneros con pienso comercial + heno que en los de pienso comercial + paja, presentando el resto contenidos intermedios.
4. El color, el contenido de metamioglobina y el esfuerzo del músculo *longissimus thoracis* no se vieron afectados por la inclusión de esparceta en la dieta, a excepción del tono. Comparando con la dieta de pienso comercial + paja, la carne de los terneros alimentados con pienso con esparceta + heno presentó mayor tono. Cuando se comparan las distintas inclusiones de esparceta únicamente se encontró que la carne de los terneros alimentados con pienso con esparceta + heno presentó mayor luminosidad en el día 1 que los terneros alimentados con pienso con esparceta + paja.
5. La oxidación lipídica se vio afectada por la inclusión de esparceta siendo mayor en la carne de terneros alimentados con pienso con esparceta + paja que en la de pienso comercial + paja y de ambos grupos de terneros alimentados con heno de esparceta. En todas las mediciones, la oxidación lipídica fue muy baja.
6. El tiempo de exposición al oxígeno afectó a los parámetros del color, el contenido de metamioglobina y la oxidación lipídica, presentando valores aceptables todos los parámetros durante todo el tiempo de estudio extendiéndose la vida útil hasta los 11 días. Todos los parámetros del color se incrementaron desde el 0 al día 1 y disminuyeron

posteriormente exceptuando el tono, que fue máximo los días 7 y 11. La metamioglobina y la oxidación lipídica también se incrementaron alcanzando el máximo el día 11.

7. La maduración afectó al esfuerzo, que se redujo en la primera semana de maduración y permaneció constante hasta los 14 días de maduración independientemente de la dieta recibida por los terneros.

Por lo tanto, se puede concluir que se puede recomendar incluir la esparceta en la dieta de cebo de terneros en forma de heno o peletizada sustituyendo parcialmente a la soja como fuente proteica, debido a que no afecta de manera sustancial a las características de la canal y la carne evaluadas.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Acciaro, M., Decandia, M., Giovanetti, V., Manca, C., Dimauro, C., Rassu, S., Addis, M. y Molle, G. (2020). Effects of grass and concentrate based finishing systems on the quality of meat from the *M. longissimus thoracis* of Young Sarda bulls. *Animal Production Science*, 61(8), 807-820.
- Acero, P. (2009). *Planificación y manejo de la explotación de vacuno de carne*. Junta de Castilla y León.
- Aguayo-Ulloa, L.A., Miranda de la Lama, G.C., Pascual-Alonso, M., Fuchs, K., Olleta, J.L., Campo, M.M., Alierta, S., Villarroel, M. y María, G.A. (2013). Effect of feeding regime during finishing on lamb welfare, production performance and meat quality. *Small Ruminant Research*, 111, 147-156.
- Akbari, M., Fozouni, Z., Pino, G. y Maleksaeidi, H. (2019). An extended model of Theory of planned behavior to investigate highly-educated Iranian consumers' intentions towards consuming genetically modified foods. *Journal of Cleaner Production*. 227, 784-793.
- Álvarez-Rodríguez, J., Urrutia, O., Lobón, S., Ripoll, G., Bertolín, J.R. y Joy, M. (2022). Insights into the role of major bioactive dietary nutrients in lamb meat quality: a review. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 13(20).
- Álvarez-Rodríguez, J., Villalba, D., Molina, E., Serrano-Pérez, B, Bertolín, J.R. y Joy, M. (2020). Do dietary condensed tannins affect the growth performance, fatty acid composition and lamb meat colour? *ITEA*, 116(2), 116-130.
- Amaral, A.B., da Silva, M.V. y Lannes, S. (2018). Lipid oxidation in meat: Mechanisms and protective factors-a review. *Food Science and Technology*, 38(29).
- Amorim-Carrilho, K.T., Cepeda, A., Fente, C. y Regal, P. (2014). Review of methods for analysis of carotenoids. *Trends in analytical chemistry*, 56, 49-73.
- Anderson, S., 2007. Determination of fat, moisture, and protein in meat and meat products by using the FOSS FoodScan™ near-infrared spectrophotometer with FOSS artificial neural network calibration model and associated database: Collaborative study. *Journal of AOAC International* 90, 1073-1083.
- Apaoblaza, A., Gerrard, S.D., Matarneh, S.K., Wicks, J.C., Kirkpatrick, L., England, E.M., Scheffler, T.L., Duckett, S.K., Shi, H., Silva, S.L., Grant, A.L. y Gerrard, D.E. (2020). Muscle from grass and grain fed cattle differs energetically. *Meat Science*, 161.

- Arnett, E.J., Fluharty, F.L., Loerch, S.C., Zerby, H.N., Zinn, R.A. y Kuber, P.S. (2012). Effects of forage level in feedlot finishing diets on carcass characteristics and palatability of Jersey beef. *Journal of Animal Science*, 90(3), 960-972.
- Arshad, M., Ahmed, A., Imran, A., Ali, S.W., Pereira, A., Taiane, M., Muñoz, J., Moura, G., Ferrinho, A., Fuzikawa, I., Mueller, L., Amorim, T., Gemelli, J., Baldi, F., Lemos, M., Taghizadeh, A., Seifdavati, J., Ahmad, S., Hussain, M. (2018). *Meat Science and Nutrition*. IntechOpen
- Aufrere, J., Dudilieu, M. y Poncet, C. (2008). In vivo and in situ measurements of the digestive characteristics of sainfoin in comparison with lucerne fed to sheep as fresh forages two growth stages as hay. *Animal*, 2 (9), 1331-1339.
- Baila, C., Joy, M., Bertolín, J.R., Alves, S., Bessa, R., Blanco, M. y Lobón, S. (2023). Inclusion of sainfoin in the concentrate of finishing lambs: Fatty acid profiles of rumen, plasma, and muscle. *Agricultural and Food Chemistry*, 71, 17947-17958.
- Baila, C., Joy, M., Blanco, M., Casasús, I., Ripoll, G., Bertolín, J.R. y Lobón, S. (2022b). Inclusion of sainfoin in the fattening concentrate: meat quality of light lambs. Book of Abstracts of the 73rd EAAP Meeting. 5 a 9 de September, 2022. Oporto (Portugal)
- Baila, C., Lobón, S., Blanco, M., Casasús, I., Ripoll, G. y Joy, M. (2022a). Sainfoin in the dams's diet as a source of proanthocyanidins: Effect on the growth, carcass and meat quality of their suckling lambs. *Animals*, 12(4), 408.
- Baila, C., Lobón, S., Blanco, M., Casasús, I., Ripoll, G., & Joy, M. (2024). Sainfoin can be included up to 40% in the concentrate of finishing lambs without impairing their performance, rumen fermentation, and carcass quality. *Animal Feed Science and Technology*, 312, 115975.
- Bailey, A. J. y Light, N. D. (1989). Connective tissue in meat and meat products. *Elsevier Applied Science*.
- Banakar, P.S., Kumar, N., Shashank, C.G. y Neeti, L. (2018). Physically effective fiber in ruminant nutrition: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(4).
- Barden, L., Decker, E.A. (2016). Lipid oxidation in low-moisture food: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(15).
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1–48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- Bekhit, A., Morton, J., Bhat, Z. y Kong, L. (2019). Meat color: Factors affecting color stability. *Encyclopedia of food chemistry*, 2, 202-210.

- Blanco, M., Casasús, I., Ripoll, G., Panea, B., Albertí, P. y Alegría, M. (2010). Lucerne grazing compared with concentrate-feeding slightly modifies carcass and meat quality of young bulls. *Meat Science*, 84(3), 545-552.
- 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 of heavy slaughter weights. I. Production, carcass and organoleptic characteristics. *Journal of Animal Science*, 83(3), 679-685.
- Brogna, D.M.R., Tansawat, R., Cornforth, D., Eard, R., Bella, M., Luciano, G., Priolo, A. y Villalba, J. (2014). The quality of meat from sheep treated with tannin and saponin based remedies as a natural strategy for parasite control. *Meat Science*, 96(2), 744-749.
- Bu, Z., Ge, G., Shan, Y. y Du, S. (2021). Effect of hay with or without concentrate or pellets on growth performance and meat quality of Ujimqin lambs on the Inner Mongolian Plateau. *Animal Science Journal*, 92 (1).
- Callejo, A. (2018). Conservación de forrajes (V): Fundamentos del ensilado. *Frisona Española*, 223, 70-78.
- Callejo, A. y Díaz, V. (2004). El proceso de henificación, *BOVIS. Aula veterinaria*, 120, 17-37.
- Campo, M.M., Nute, G.R., Hughes, S.I., Enser, M., Wood, J.D. y Richardson, R.I. (2006). Flavour perception of oxidation in beef. *Meat Science*, 72, 303-311.
- Cerdeño, A., Vieira, C., Lavín, P. y Mantecón, A.R. (2006). Effects of feeding strategy during a short finishing period on performance carcass and meat quality in previously grazed Young bulls. *Meat Science*, 72(4), 719-726.
- CESFAC (2021). Soja sostenible para un suministro responsable de piensos compuestos. https://cesfac.es/media/attachments/2021/07/07/estudio_soja_sostenible_para_un_suministro_responsable_de_piensos_compuestos-final.pdf [Fecha de último acceso: 12/06/2024]
- Chaijan, M. y Panpipat, W. (2017). Mechanism of oxidation in foods of animal origin. In *Natural Antioxidants. Applications in Foods of Animal Origin*; Banerjee, R., Verma, A.K., Siddiqui, M.W., Eds.; Apple Academic Press, Inc.: Boca Raton, FL, USA, 2017, 1-38. ISBN 978-1-315-36591-6.
- Chan, W.K.M., Hakkarainen, K., Faustman, C., Schaefer, D.M., Scheller, K.K. y Liu, Q. (1996). Dietary vitamin E effect on color stability and sensory assessment of spoilage in three beef muscles. *Meat Science*, 42(4), 387-399.

- Chancellor, C. (2018). The trouble with soy: the threats to small-scale producers across Europe. Ecoruralis. <https://www.eurovia.org/wp-content/uploads/2018/08/Report-The-trouble-with-soy-2018-compressed.pdf> [Fecha de último acceso: 12/06/2024]
- Clinquart A., Ellies-Oury, M.P., Hocquette, J.F., Guillier, L., Santé-Lhoutellier, V. y Prache, S. (2022). Review: On-farm and processing factors affecting bovine carcass and meat quality. *Animal*, 16 (1).
- Comisión Nacional de Coordinación en materia de alimentación animal (2022). Datos de producción de piensos 2022. https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/alimentacion-animal/2022-informeapublicardatosdeproducciondepiensosenespana2022_tcm30-459584.pdf [Fecha de último acceso: 11/06/2024]
- Coulon, J.B., Priolo, A. (2002). La qualité sensorielle des produits laitiers et de la viande dépend des fourrages consommés par les animaux. *INRA Productions Animales*, 15, 333-342.
- Deckelbaum R., y Torrejón, C. (2012). The Omega-3 fatty acid nutritional landscape: health benefits and sources, *The Journal of Nutrition*, 142 (3), 5875-5915.
- Del Campo, M., Brito, G., Soares de Lima, J.M., Vaz Martins, D., Sañudo, C., San Julián, R., Hernández, P., y Montossi, F. (2008). Effects of feeding strategies including different proportion of pasture and concentrate, on carcass and meat quality traits in Uruguayan steers. *Meat Science*, 80, 753-760.
- Delgado I., Andrés C., Muñoz F (2008). Effect of the environmental conditions on different morphological and agronomical of sainfoin. En Porqueddu, C. (ed.) y Tavares de Sousa, M. M (ed.), *Sustainable mediterranean grasslands and their multi-functions* (pp. 199-202). Options Méditerranéennes.
- Diario Oficial de la Unión Europea (2024). Resolución del Parlamento Europeo, de 19 de octubre de 2023, sobre la estrategia europea en materia de proteínas (2023/2015(INI)).
- Dominguez, R., Pateiro, M., Gagaoua, M., Barba, F., Zhang, W. y Lorenzo, J.M. (2019). A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products. *Antioxidants*, 8(10), 429.
- Drouillard, J.S., Kuhl, G.L. (1999). Effects of previous grazing nutrition and management on feedlot performance of cattle. *Journal of Animal Science*, 2, 136-146.
- Duckett, S.K., Neel J.P.S., Lewis, R.M., Fontenot, J.P. y Clapham, W.M. (2013). Effects of forage species or concentrate finishing on animal performance, carcass and meat quality. *Journal of Animal Science*, 91, 1454-1467.

- Dufrasne, I., Gielen, M. Limbourg, P., Van Eenaeme, C. y Istasse, L. (1995). Effects of a grazing period on performance of finishing bulls: comparison with an indoor finishing system. *Animal Science*, 60(1), 75-80.
- Dunne, P.G., O'Mara, F.P., Monahan, F.J. y Moloney, A.P. (2006). Changes in colour characteristics and pigmentation of subcutaneous adipose tissue and M *longissimus dorsi* of heifers fed grass, grass silage or concentrate based diets. *Meat Science*, 74(2), 231-241.
- Ellies-Oury, M., Grossiord, B., Denayrolles, M., Papillon, S., Sauvant, P., Hocquette, J. y Aussems, E. (2022). Evolution of sensory properties of beef during long dry ageing. *Foods*, 11(18), 2822.
- FEDNA (2024). Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Harina de soja 44% PB.
- Forbes, J.M. (2007). *Voluntary food intake and diet selection in farm animals*. (2º Ed).
- Franco, D., Bispo, E., González, L., Vázquez, J. A. y Moreno, T. (2009). Effect of finishing and ageing time on quality attributes of loin from the meat of Holstein–Fresian cull cows. *Meat Science* 83, 484-491.
- French, P., O’Riordan, E.G., Monahan, F.J., Caffrey, P.J., Mooney, M.T., Troy, D.J. y Moloney, A.P. (2001). The eating quality of meat of steers fed grass and/or concentrates. *Meat Science*, 57(4), 379-386.
- French, P.D., O’Riordan, E.G., Monahan, F.J., Caffrey, P.J., Vidal, M., Mooney, M.T., Troy, D.J. y Moloney, A.P. (2000). Meat quality of steers finished on autumn grass, grass silage or concentrate-based diets. *Meat Science*, 56, 173-180.
- Fruet, A.P.B., De Mello, A., Trombetta, F., Stefanello, F.S., Speroni, C.S., De Vargas, D.P., De Souza, A.N.M., Rosado, A.G., Tonetto, C.J., Nornberg, J.L. (2018). Oxidative stability of beef from steers finished exclusively with concentrate, supplemented, or on legume-grass pasture. *Meat Science*, 145, 121-126.
- Gao, Z., Liu, B., La, S., Ma, S., Cui, Y., Shi, Y. y Less, S. (2023). Alfalfa hay substitution for wheat straw improves beef quality via rumen microflora alteration. *Heliyon*, 9, 20803.
- Garmyn, A.J., Hilton, G.G., Mateescu, R.G. y VanOverbeke, D.L. (2010). Effects of concentrate versus forage based finishing diet on carcass traits, beef palatability and color stability in Longissimus Muscle from Angus Heifers. *The Professional Animal Scientist*, 26, 579-586.
- Gatellier, P., Mercier, Y., Juin, H. y Renerre, M. (2005). Effect of finishing mode (pasture or mixed diet) on lipid composition, colour stability and lipid oxidation in meat from Charolais cattle. *Meat Science*, 69(1), 175-186.

- Gobert, M., Gruffat, D., Habeanu, M., Parafita, E., Bauchart, D. y Durand, D. (2010). Plant extracts combined with vitamin E in PUFA-rich diets of cull cows protect processed beef against lipid oxidation, *Meat Science*, 85, 676–683.
- Gómez, J., Antonio, D., Belina, M., Pavan, B., Bambil, D., Fantinato-Neto, P., Saran-Netto, A., Leme, P., Goulart, P. y Gerrard, D. (2021). Feeding strategies impact animal growth and beef color and tenderness. *Meat Science*, 183.
- Griinari, J.M., Mwyer, D.A., Macguire, M.A., Bauman, D.E., Palmquist, D.L. y Nurmela, K.V. (1998). TransOctadecenoic acids milk fat depression in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 81, 1251-1261.
- Gruffat, D., Durand, D., Rivaroli, D., do Prado, I.N. y Prache, S. (2020). Comparison of muscle fatty acid composition and lipid stability in lambs stall-fed or pasture-fed alfalfa with or without sainfoin pellet supplementation. *Animal*, 14(5), 1093-1101.
- Guyon, C., Meynier, A. y Lamballerie, M (2016). Protein and lipid oxidation in meat: A review with emphasis on high-pressure treatments. *Trends in Food Science and Technology*, 50(3).
- Hedrick, H.B., Paterson, J.A., Matches, A.G., Thomas, J.D., Morrow, R.E., Stringer, W.G. y Lipsey, R.J. (1983). Carcass and palatability characteristics of beef produced on pasture, corn silage and corn grain. *Journal of Animal Science*, 57(4), 791-801.
- Hernández, B., Sáez, C., Diñeiro, J.M. y Alberdi, C. (2019). CIELAB color paths during meat shelf. *Meat Science*, 157.
- Hernández, B., Sáez, C., Diñeiro, J.M., Alberdi, C. (2019). CIELAB color paths during meat shelf life. *Meat Science*, 157.
- Holman, B., Van de Ven, R., Mao, Y., Coombs, C. y Hopkins, D. (2017). Using instrumental (CIE and reflectance) measures to predict consumers' acceptance of beef colour. *Meat Science*, 127, 57-62.
- Honig, A.C., Inhuber, V., Spiekers, H., Windisch, W., Gotz, K., Schuster, M. y Etle, T. (2022). Body composition and composition of gain of growing beef bulls fed rations with varying energy concentration. *Meat Science*, 184.
- Huan-Yu, L., Jiunn-Wang, L., Ruo-Shiuan, C., Chia-Hua, C., Hui-Wen, C., Shih-Chieh, C., Wen-Shen, C., Chien-Ku, L. y Hsin-Tang, L. (2022). Food safety assessment of commercial genetically modified soybeans in rats. *Foods*, 11 (4), 496.
- Hughes, J.M., McPhail, N.G., Kearney, G., Clarke, F. y Warner, R.D. (2015). Beef longissimus eating quality increases up to 20 weeks of storage and is unrelated to meat colour at carcass grading. *Animal Production Science*, 55, 174-179.

- Hwang, Y., Joo, S. (2017). Fatty profiles, meat quality, and sensory palatability of grain-fed and grass-fed beef from Hanwoo, American and Australian crossbred cattle. *Korean Journal for Food Science Of Animal Resources*, 37 (2), 153-161.
- Iguacel, L.P., Calvo, J.H., Casasús, I., Serrano, M., Ripoll, G., Sarto, P., Villalba, D. y Blanco, M. (2019). Association of two single nucleotide polymorphisms in the calpastatin gene with tenderness under varying lengths of meat ageing in two native Spanish cattle breeds. *Livestock Science*, 230.
- Jena, J., Maitra, S., Hossain, A., Pramanick, B., Gitari, H., Praharaj, S., Shankar, T., Bharati, J., Rathore, A., Kumar, T. y Singh H. (2022). Role of legumes in cropping system for soil ecosystem improvement. *Ecosystem Services*, 1-21
- Kebede, G., Assefa, G., Feyissa, F. y Mengistu, A. (2016). Forage legumes in Crop-Livestock mixed farming systems-A review. *International Journal of Livestock Research*, 6(4).
- Lawrie, R.A. (1998). *Lawrie's meat science*. (6º Ed) Woodhead Publishing Limited.
- Leal, L.N., Jordán, M.J., Bello, J.M., Otal, J., den Hartog, L.A., Hendriks, W.H. y Martín-Tereso, J. (2019). Dietary supplementation of 11 different plant extracts on the antioxidant capacity of blood and selected tissues in lightweight lambs. *Journal of the science of Food and Agriculture*, 99 (9), 4296-4303.
- Legako, J.F., Cramer, T., Yardley, K., Murphy, T.J., Gardner, T., Chail, A., Pitcher, L.R., MacAdam, J.W. (2018). Retail stability of three beef muscles from grass, legume, a feedlot finished cattle. *Journal of Animal Science*, 96(6), 2238-2248.
- Lenth R (2024). emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means_. R package version 1.10.1, <<https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>>.
- Li, X., Ha, M. Warner, R. y Dunshea, F. (2022). Meta-analysis of the relationship between collagen characteristics and meat tenderness. *Meat Science*, 185.
- Li, Z., Peng, C., Wang, H. y Liu, X. (2024). Improved muscle fatty acid composition and oxidative stability in lambs grazing on sainfoin pasture. *Veterinary and Animal Science*, 23.
- Lobón, S., Blanco, M., Sanz, A., Ripoll, G. Bertolín, J.R. y Joy, M. (2017a). Meat quality of light lambs is more affected by the dam's feeding system during lactation than by the inclusion of the quebracho in the fattening concentrate. *Journal of Animal Science*, 95 (11), 4998-5011.
- Lobón, S., Sanz, A., Blanco, M., Ripoll, G. y Alegría, M. (2017b). The type of forage and condensed tannins in dams's diet: Influence on meat shelf life of their suckling lambs. *Small Ruminant Research*, 154, 115-122.

- Luciano, G., Vasta, V., Monahan, F.J., López-Andrés, P. Biondi, L., Lanza, M., Priolo, A. (2011). Antioxidant status, colour stability and myoglobin resistance to oxidation of *longissimus dorsi* muscle from lambs fed a tannin containing diet. *Food Chemistry*, 124(3), 1036-1042.
- Madruga, A., Abril, R.S., González, L.A., Manteca, X., Panella-Riera, N., Gil, M. y Ferret, A. (2019). Using 19% of alfalfa hay in beef feedlot finishing diets did not modify meat quality but increased feed intake and ADG. *Journal of Animal Science*, 97(5), 2076-2986.
- Maillard, M.N. y Berset, C. (1995). Evolution of antioxidant activity during kilning: role of insoluble bound phenolic acids of barley and malt. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43. 1789-1793.
- Maltin, C., Balcerzak, D., Tilley, R. y Delay, M. (2003). Determinants of meat quality: tenderness. *Proceedings of the Nutrition Society*, 62, 337-347.
- Mancini, R.A. y Ramanathan, R. (2014). Effects of postmortem storage time on color and mitochondria in beef. *Meat Science*, 98, 65-70.
- MAPA (2020) Cultivos forrajeros-leguminosas forrajeras-esparceta. Análisis provisional de superficie, rendimiento y producción en verde, 2019. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación https://www.mapa.gob.es/estadistica/pags/anuario/2020/TABLAS%20PDF/CAPITULO07/pdfc07_7.5.11.3.pdf [Fecha de último acceso: 12/06/2024]
- MAPA (2022a) Estudio sobre el sector vacuno de carne en España. Datos SITRAN 2021. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2022). https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/2024_enero_spgyc_estudioengordeternerosdatossitran2021_tcm30-512343.pdf [Fecha de último acceso: 20/06/2024]
- MAPA (2022b) El sistema de clasificación de canales de bovino. Base legislativa y manual práctico. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/manual_clasificacion_de_canales_de_bovino_2022_tcm30-617479.pdf [Fecha de último acceso: 20/06/2024]
- MAPA (2023a). Alimentación animal. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2023). <https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/alimentacion-animal/> [Fecha de último acceso: 20/06/2024]
- MAPA (2023b). Información del Sector vacuno de carne. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. <https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y->

[mercados-ganaderos/sectores-ganaderos/vacuno-de-carne/informacion-del-sector/](https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/sectores-ganaderos/vacuno-de-carne/informacion-del-sector/)

[Fecha de último acceso: 20/06/2024]

- MAPA (2023c). Informe resumen caracterización sector vacuno de carne. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/2023informecaracterizacionsectorvacunodecarne_datos2022_pub2_tcm30-553721.pdf [Fecha de último acceso: 20/06/2024]
- MAPA (2024). Oleaginosas (girasol, colza y soja). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. <https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/cultivos-herbaceos/leguminosas-y-oleaginosas/oleaginosas.aspx> [Fecha de último acceso: 20/06/2024]
- Marino, R., Albenzio, M., Girolami, A., Muscio, A., Sevi, A. y Braghieri, A. (2006). Effect of forage to concentrate ratio on growth performance, and on carcass and meat quality of Podolian Young bulls. *Meat Science*, 72(3), 415-424.
- Maughan, B., Provenza, F.D., Tansawat, R., Maughan, C., Martini, S., Ward, R., Clemensen, A., Song, X., Cornforth, D. y Villalba, J. (2014). Importance on grass legume choice on cattle grazing behavior, performance and meat characteristics. *Journal of Animal Science*, 92(5), 2309-2324.
- McKenna, D.R., Mies, P.D., Baird, B.E., Pfeiffer, K.D., Ellecracht, J.W. y Savell, J.W. (2005). Biochemical and physical factors affecting discoloration characteristics of 19 bovine muscles. *Meat Science*, 70, 665-682.
- Mierlita, D., Pop, I.M., Teusdea, A., Lup, F., Daraban, S., Georgescu, B., Boaru, A. y Rahmann, G. (2017). Effect of forage preservation method on fatty acid composition and oxidative stability of organic sheep milk. *Journal of applied research in agricultura and forestry*, 67, 43-52.
- Min, B. y Ahn, D.U. (2005) Mechanism of lipid peroxidation in meat and meat products- a review. *Food Science Biotechnology*, 152-163.
- Moorby, J.M., Fraser, M.D. (2021). New feeds and new feeding systems in intensive and semi-intensive forage-fed ruminant livestock systems. *Animal*, 15.
- Moran, L., O'Sullivan, M.G., Kerry, J.P., Picard, B., McGee, M., O'Riordan, E.G. y Moloney, A.P. (2017). Effect of grazing period prior to finishing on a high concentrate diet on meat quality from bulls and steers. *Meat Science*, 125, 76-83.
- Mora-Ortiz, M. y Smith, L.M.J. (2018). *Onobrychis viciifolia*: a comprehensive literature review of its history, etymology, taxonomy, genetics, agronomy and botany. *Legume genetic and Pre-breeding resources*, 16 (5).

- Morgan, J., Wheeler, T., Koohmaraie, M., Savell, J. y Crouse, J. (1993). Meat tenderness and the calpain proteolytic system in longissimus muscle of young bulls and steers. *Journal Of Animal Science*, 71, 1471-1476.
- Muir, P.D., Deaker, J.M. y Bown, M.D. (1998). Effects of forage and grain based feeding systems on beef quality: a review. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 41(4), 623-635.
- Nishimura T., Hattori A. y Takahashi, K. (1999). Structural changes in intramuscular connective tissue during the fattening of Japanese Black cattle: effect of marbling on beef tenderization. *Journal of Animal Science* 77, 93–104.
- Noziere, P., Graulet, B., Lucas, A., Martin, B., Grolier, P. y Doreau, M. (2006). Carotenoids for ruminants: From forage to dairy products. *Animal Feed Science and Technology*, 131, 418-450.
- Nygren, P. y Leblanc, H.A. (2015) Dinitrogen fixation by legume shade trees and direct transfer of fixed N to associated cacao in a tropical agroforestry system. *Tree Physiol*, 35(2), 134-147.
- Orden, E.A., Cruz, E.M., Espino, A.N., Battad, Z.M., Reyes, R.G., Orden, M.E., Frías, N.O., Gibe, G., Del Rosario, N.A. y Villar, E.C. (2014). Pelletized forage-based rations as alternative feeds for improving goat productivity. *Tropical Grasslands*, 2, 108,110.
- Orzuna-Orzuna, J.F., Dorantes-Iturbide, G., Lara-Bueno, A., Mendoza-Martínez, G.D., Miranda-Romero, L.A. y Lee-Rangel, H.A. (2021). Growth performance, meat quality and antioxidant status of sheep supplemented with tannins: A meta-analysis. *Animals*, 11 (11), 3184.
- Ouali, A., Herrera-Mendez, C.H., Coulis, G., Becila, S., Boudjellal, A., Aubry, L. y Sentandreu, M.A. (2006). Revisiting the conversion of muscle into meat and the underlying mechanisms. *Meat Science*, 74, 44-58.
- Owens, F. N., Gill, D.R., Secrist, D.S. y Coleman, S.W. (1995). Review of some aspects of growth and development of feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 73, 3152-3172.
- Oyaniran, D.K., Ojo, V.O., Aderinboue, R.Y., Bakare, B.A. y Olanite, J.A. (2018). Effect of pelting on nutritive quality of forage legumes. *Livestock Reseach for Rural and Development*, 30 (4).
- Park, S.J., Beak, S., Jung, D., Kim, S.Y., Jeong, I.H., Piao, M.Y., Kang, H.J., Fassah, D.M., Na, S.W., Yoo, S.P. y Baik, M. (2018). Genetic, management and nutritional factors affecting intramuscular fat deposition in beef cattle-A review. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, 31(7), 1043-1061.

- Patinho, i., Leite, C., Saldaña, E., Gagaoua, M., Behrens, J.H., Contreras-Castillo, C.J. (2024). Assessment of beef sensory attributes and physicochemical characteristics: A comparative study of intermediate versus normal ultimate pH striploin cuts. *Food Research International*, 175.
- Patra, A.K., Saxema, J. (2011). Exploitation of dietary tannins to improve rumen metabolism and ruminant nutrition. *Journal Of Food Agriculture*, 91(1), 24-37.
- Pfalzgraf, A., Frigg, M. y Steinhart, H. (1995). α -Tocopherol contents and lipid oxidation in pork muscle and adipose tissue during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 43: 1339-1342.
- Picard, B. y Gagaoua, M. (2020). Muscle fiber properties in cattle and their relationships with meat qualities: an overview. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68 (22) 6021-6039.
- Pighin, D., Pazos, A., Chamorro, V., Paschetta, F., Cunzolo, S., Godoy, F., Messina, V., Pordomingo, A., Grigioni, G. (2016). A contribution of beef to human health: A review of the role of the animal production systems. *The Scientific World Journal*. 2016.
- Poveda-Arteaga, A., Krell, J., Gibis, M., Heiz, V., Terjung, N. y Tomasevic, I. (2023). Intrinsic and extrinsic factors affecting the color of fresh beef meat-comprehensive review. *Applied Sciences*, 13 (7).
- Priolo, A., Bella, M., Lanza, M., Galofaro, V., Biondi, L., Barbagallo, D., Ben Salem, H. y Pennisi, P. (2005). Carcass and meat quality of lambs fed fresh sulla (*Hedysarum coronarium L.*) with or without polyethylene glycol or concentrate. *Small Ruminant Research*, 59(2-3), 281-288.
- Priolo, A., Ben Salem, H., Atti N., Nefzaoui, A. (2002) Polyethylene glycol in concentrate or feedblocks to deactivate condensed tannins in *Acacia cyanophylla* Lindl. Foliage 2. Effects on meat quality of Barbarine lambs. *Animal Science*, 75, 137-140
- R Development Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing; R Development Core Team: Vienna, Austria, 2018.
- Real Decreto (CE) nº 145/2021, de 9 de marzo, por el que se modifican el Real Decreto 814/2018, de 6 de julio, por el que se establecen disposiciones de aplicación relativas a la clasificación de las canales de porcino y el Real Decreto 815/2018, de 6 de julio, por el que se establecen disposiciones de aplicación relativas a la clasificación de las canales de vacuno y ovino y al registro y comunicación de los precios de mercado de determinadas categorías de canales y animales vivos.

- Real Decreto (CE) nº 53/2013, de 1 de febrero, por el que se establecen las normas básicas aplicables para la protección de los animales utilizados en experimentación y otros fines científicos, incluyendo la docencia.
- Reglamento (CE) nº 767/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo de 13 de julio de 2009 sobre la comercialización y la utilización de los piensos, por el que se modifica el Reglamento (CE) nº 1831/2003 y se derogan las Directivas 79/373/CEE del Consejo, 80/511/CEE de la Comisión, 82/471/CEE del Consejo, 83/228/CEE del Consejo, 93/74/CEE del Consejo, 93/113/CE del Consejo y 96/25/CE del Consejo y la Decisión 2004/217/CE de la Comisión.
- Reglamento (CE) nº 853/2004 del parlamento europeo y del consejo de 29 de abril de 2004 por el que se establecen normas específicas de higiene de los alimentos de origen animal.
- Reglamento (UE) nº 1308/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo de 17 de diciembre de 2013, por el que se crea la organización común de mercados de los productos agrarios y por el que se derogan los Reglamentos (CEE) nº 922/72, (CEE) n1 234/79, (CE) nº 1037/2001 y (CE) nº 1234/20.
- Renerre, M. (1982). La couleur de la viande et sa mesure. *Bull Technology C.R.Z.V. Theix*, 47(47).
- Renerre, M. (1986). Influence de facteurs biologiques et technologiques sur la couleur de viande bovine. *Bulletin Technique CRZV Theix INRA*, 65, 41-48.
- Renerre, M. y Mazuel, J.P. (1985). Relationships between instrumental and sensory measurement methods of meat color. *Sciences des Aliments*, 5(4), 541-557.
- Ricardo-Rodrigues, S., Laranjo, M., Elias, M., Potes, M.E., Agulheiro-Santos, A.C. (2024). Establishment of a tenderness screening index for beef cuts using instrumental and sensory texture evaluations. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 35.
- Ripoll, G., González Calvo, L., Molino, F., Calvo, J. 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 science*, 93, 906-913.
- Rivaroli, D., Prunier, A., Meteau, K., do Prado, I.N. y Prache, S. (2019). Tannin rich sainfoin pellet supplementation reduces fat volatile indoles content and delays digestive parasitism in lambs grazing alfalfa. *Animal*, 13(9), 1883-1890.

- Robelin, J. (1981). Cellularity of of bovine adipose tissues: developmental changes from 15 to 65 percent mature weight. Laboratoire de la Production de Viande, Centre de Recherches de Clermont-Ferrand, I.N.R.A., France.
- Rodríguez, A. (1994) Estimación de raciones alimenticias para el cebo de terneros en Asturias. *Sistemas de Producción Animal*. Serie Monografías, nº 1/94, 1-8.
- Ross, C.F. y Smith, D.M. (2006). Use of volatiles as indicators of lipid oxidation in muscle foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 5(1), 18-25.
- Rufino-Moya, P.J., Bertolín, J.R., Blanco, M., Lobón, S. y Joy, M. (2022) Fatty acid profile, secondary compounds and antioxidant activities in the fresh forage, hay and silage of sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) and sulla (*Hedysarum coronarium*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102 (11), 4736-4743.
- Rufino-Moya, P.J., Blanco, M., Bertolín, J.R. y Joy, M. (2019). Effect of the method of preservation on the chemical composition and in vitro fermentation characteristics in two legumes rich in condensed tannins. *Animal Feed Science and Technology*, 251, 12-20.
- Santos D., Monteiro, M.J., Voss, H., Kmora, N., Teixeira, P. y Pintado, M. (2021). The most important attributes of beef sensory quality and production variables that can affect it: A review. *Livestock Science*, 250.
- Santos-Silva, J., Alves, S.P., Francisco, A., Portugal, A.P., Almeida, J., Fialho, L., Jerónimo, E. y Bessa, R. (2020). Effects of a high-fiber and low-starch diet in growth performance, carcass and meat quality of young Alentejana breed bulls. *Meat Science*, 168.
- Santos-Silva, J., Alves, S.P., Francisco, A., Portugal, A.P., Dentinho, M.T., Almeida, J., Da Silva, J.L., Fialho, L., Cachucho, L., Jerónimo, E., Rodrigues, A., Teixeira, R.F., Domingos, T. y Bessa, R.J. (2023). Forage based diet as an alternative to a high concentrate diet for finishing young bulls – Effects on growth performance, greenhouse gas emissions and meat quality. *Meat Science*, 198.
- Scollan, N., Hocquette, J.P., Nuernberg, K., Dannenberger, D., Richardson, I. y Moloney, A. (2006). Innovations in beef production systems that enhance the nutritional and health value of beef lipids and their relationship with meat quality. *Meat Science*, 74, 17-33.
- Sen, A. R., Muthupalani, M. y Naveena, B.M. (2012). Effects on colour characteristics of buffalo meat during blooming, retail display and using vitamin C during refrigerated storage. *Journal of Food Science and Technology*, 51 (11).
- Shrinivasa, D.J. y Mathur, M. (2020). Compound feed production for livestock. *Current Science*, 118 (4).

- Taylor, R.G., Geesink, G.H., Thompson, V.F., Koohmaraie, M. y Goll, D.E. (1995). Is Z-disk degradation responsible for postmortem tenderization? *Journal of Animal Science*, 73, 1451-1367.
- Terler, G., Velik, M., Poier, G., Sener-Aydemir, A., Klevenhusen, F. y Zebeli, Q. (2023). Feeding concentrate with hay of different qualities modulates rumen histology, development of digestive tract as well as slaughter performance and meat quality of young dairy calves. *Archives of Animal Nutrition*, 77(3), 171-186.
- Terlouw, C., Picard, B., Deiss, V., Berri, C., Hocquette, J., Lebret, B., Lefebvre, F., Hamill, R. y Gagaoua, M. (2021). Understanding the determination of meat quality using biochemical characteristics of the muscle: stress at slaughter and other missing keys. *Foods*, 10 (1).
- Van den Oord, A.H.A., Wesdorp, J.J. (1971). Colour rating and pigment composition of beef: Relation between colour measurement by reflectance spectrophotometry, subjective colour evaluation, and relative concentration of oxymyoglobin and ferric myoglobin in chilled retail-packed beef. *International Journal of Food Science and Technology*, 6(1), 15-20.
- Van Elswyk, M. y Mcneill, S. (2014). Impact of grass/forage feeding versus grain finishing on beef nutrients and sensory quality: The U.S. experience. *Meat Science*, 96(1), 535-540.
- Vasta, V. y Luciano, G. (2011). The effects of dietary consumption of plants secondary compounds on small ruminants' products quality. *Small Ruminant Research*, 101(1-3), 150-159.
- Warner, R.D., Greenwood, P.L., Pethick, D.W. y Ferguson, D.M. (2010). Genetic and environmental effects on meat quality. *Meat Science*, 86 (1), 171-183.
- Warner, R.D., Wheeler, T.L., Haa, M., Li, X., Bekhit, A., Morton, J., Vaskoska, R., Dunshea, R., Liu, R., Purslow, P. y Zhang, W. (2022). Meat tenderness: Advances in biology, biochemistry, molecular mechanisms and new technologies. *Meat Science*, 185.
- Warris, P.D. (2000). *Meat Science*. CABI Publishing.
- Wheeler, T.L., Shackelford, S.D. y Koohmaraie, M. (2000). Variation in proteolysis, sarcomere length, collagen content and tenderness among major pork muscles. *Journal of Animal Science*, 78, 958-965.
- Wicks, J., Beline, M., Morales, J.F., Luzardo, S., Silva, S.L. y Gerrard, D. (2019). Muscle energy metabolism, growth, and meat quality in beef cattle. *Agriculture*, 9(9).

- Wu, G., Farouk, M.M., Clerens, S. y Rosenvold, K. (2014). Effect of beef ultimate pH and large structural protein changes with aging on meat tenderness. *Meat Science*, 98, 637-645.
- Yang, A., Lanari, M.C., Brewster, M. y Tume, R.K. (2002). Lipid stability and meat colour of beef from pasture and grain fed cattle with or without vitamin E supplement. *Meat Science*, 60, 41-50.
- Zhu, Y., Gagaoua, M., Mullen, A.M., Viala, D., Rai, D.K., Kelly, A.L., Sheehan, D. y Hamill, R.M. (2021). Shotgun proteomics for the preliminary identification of biomarkers of beef sensory tenderness, juiciness and chewiness from plasma and muscle of young Limousine-sired Bulls. *Meat Science*, 176.